

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Обработка результатов неравноточных измерений методом агрегирования рангов
УДК 681.5.08:519.234.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Тютрина Анастасия Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	Д.Т.Н., профессор		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Казаков Вениамин Юрьевич	К.Ф.-М.Н., С.Н.С.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

«Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий	Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК- 1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Использовать базовые знаний в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений	Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК- 26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов

		<i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.19
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2019	Аналитический обзор литературы по обработке результатов неравноточных измерений	20
16.03.2019	Опробование метода среднего взвешенного	25
20.04.2019	Опробование метода IF&PA, обработка полученных результатов измерений, сравнительный анализ полученных результатов с методом среднего взвешенного	30
10.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.05.2019	Социальная ответственность	10
30.05.2019	Раздел, выполненный на английском языке	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Доцент ОАР ИШИТР	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф.-м.н., с.н.с.		
---------------------	-----------------------------	----------------------	--	--



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Казаков В.Ю.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Тютриной Анастасии Александровне

Тема работы:

Обработка результатов неравноточных измерений методом агрегирования рангов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1097/с от 12.02.2019г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: метод обработки результатов неравноточных измерений IF&PA
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1 Аналитический обзор литературы по обработке результатов неравноточных измерений; 2 Опробование метода среднего взвешенного; 3 Опробование метода IF&PA, обработка полученных результатов измерений, сравнительный анализ полученных результатов с методом среднего взвешенного; 5 Социальная ответственность; 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7 Раздел, выполненный на английском языке.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В. С. Николаенко
Социальная ответственность	Н. А. Атепаева
Раздел, выполненный на английском языке	А.В. Диденко
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Равноточные и неравноточные измерения 2. Метод среднего взвешенного 3. Метод IF&PA	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.01.19
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Тютрина Анастасия Александровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Тютриной Анастасии Александровне

Школа	информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Формирование плана работ по разработке проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Расчет трудоемкости выполнения этапов НИР
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Составление бюджета внедрения научно-технического исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. График проведения и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
гр. 8ГМ71	Тютрина Анастасия Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Тютриной Анастасии Александровне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Тема ВКР:

Обработка результатов неравноточных измерений методом агрегирования рангов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектами исследования являются Актаком AWG-4110, лабораторный макет № 5, соединительные провода и средства измерений – вольтметры В7-38М (5 шт.). Разработанный метод IF&PA может применяться в таких областях как экономические расчеты, банковские операции, голосование (политика), серийное производство, метрологическое обеспечение, межлабораторные сличения и др.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рассматриваются специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. Тезисно приводятся основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.
3. Экологическая безопасность:	В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В данном подразделе проводится краткий анализ возможных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации проектируемого решения.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.19
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД, ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Тютрина Анастасия Александровна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 120 страниц, 19 рисунков, 37 таблиц, 33 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: неравноточные измерения, многократные измерения, агрегирование рангов, комплексирование интервальных данных, робастность, точность.

Объектом исследования является метод обработки результатов неравноточных измерений IF&PA.

Цель работы – провести сравнительный анализ результатов неравноточных измерений напряжения переменного тока, полученных с помощью нескольких экземпляров одностипных средств измерений, обработанных методами среднего взвешенного и IF&PA.

В процессе исследования был проведен обзор современной литературы и стандартизованных методов в области обработки результатов неравноточных измерений; проведены измерения напряжения переменного тока с помощью пяти цифровых вольтметров В7-38М в трех точках диапазона на пределе 8 В; полученные данные были обработаны методами среднего взвешенного и IF&PA с оцениванием точности; проведен сравнительный анализ результатов, полученных методами среднего взвешенного и IF&PA.

В результате проведенных исследований подтверждена целесообразность применения метода IF&PA для обработки неравноточных измерений.

Область применения: метрологическое обеспечение единства измерений, межлабораторные сличения, обработка результатов измерений, оценка неопределенности измерений.

Содержание

Введение	11
1 Неравноточные измерения и методы их обработки	12
1.1 Точность измерений	12
1.2 Равноточные и неравноточные измерения	15
2 Метод среднего взвешенного	20
3 Метод IF&PA	32
3.1 Непараметрические методы оценивания результатов неравноточных измерений	35
3.2 Сравнительный анализ методов среднего взвешенного и IF&PA	39
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
5 Социальная ответственность	76
Заключение	89
Список использованных источников	90
Приложение А (обязательное) Нахождение оценки методом IF&PA	93
Приложение Б (обязательное) Раздел, выполненный на иностранном языке	109

Введение

Результаты наблюдений называются равнорассеянными (равноточными), если они являются независимыми, одинаково распределенными случайными величинами и получаются при измерениях, проводимых одним наблюдателем или группой наблюдателей; с помощью одних и тех же методов и средств измерений; в неизменных условиях внешней среды.

Нарушение хотя бы одного из перечисленных условий приводит к ситуации неравноточных (или неравнодисперсных) измерений. В этом случае актуальным является применение специальных методов обработки результатов измерений.

Цель работы – провести сравнительный анализ результатов неравноточных измерений напряжения переменного тока, полученных с помощью нескольких экземпляров однотипных средств измерений, обработанных методами среднего взвешенного и IF&PA.

В процессе исследования был проведен обзор современной литературы и стандартизованных методов в области обработки результатов неравноточных измерений; проведены измерения напряжения переменного тока с помощью пяти цифровых вольтметров В7-38М в трех точках диапазона на пределе 8 В; полученные данные были обработаны методами среднего взвешенного и IF&PA с оцениванием точности; проведен сравнительный анализ результатов, полученных методами среднего взвешенного и IF&PA.

В результате проведенных исследований подтверждена целесообразность применения метода IF&PA для обработки неравноточных измерений.

В работе спланирован и сформирован бюджет научных исследований, составлен бюджет внедрения инженерного решения. Приведен анализ объекта исследования и области его применения с точки зрения возникновения вредных проявлений факторов производственной среды.

1 Неравноточные измерения и методы их обработки

1.1 Точность измерений

Любое измерение, направленное на экспериментальное определение значения величины, характеризуется точностью. Точность – это степень близости результата анализа к истинному (опорному) значению [1]. Выражается точность средне квадратическим отклонением, доверительными границами погрешности, стандартной неопределенностью измерений, суммарной стандартной и расширенной неопределенностью.

Характеристикой точности, в частности, являются такие оценки, как погрешность и неопределенность измерений, основанные на вероятностной модели: они всегда проявляются по-разному, с определенной вероятностью, что можно сравнить с генерацией случайных чисел.

Из Постулата теории погрешностей следует, что результаты прямых измерений и их случайные погрешности при большом их количестве подчиняются закону нормального распределения. На рисунке 1 представлена форма закона нормального распределения со стандартными параметрами (ЗНР).

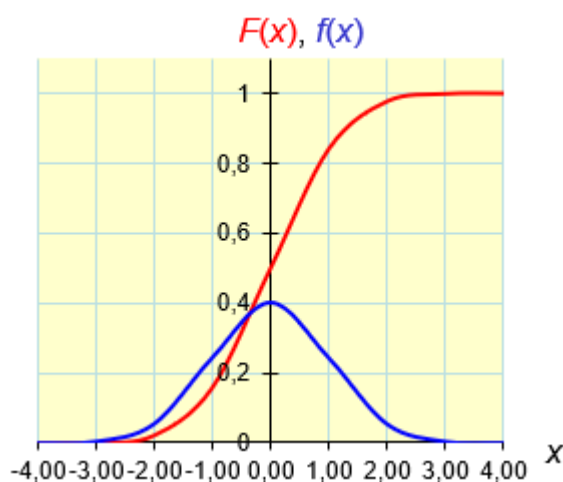


Рисунок 1 – Форма закона нормального распределения со стандартными параметрами $\mu = 0$ и $\sigma = 1$.

Нормальное распределение имеет параметры μ и σ :

$$\text{интегральная форма: } F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx, \quad (1)$$

$$\text{дифференциальная форма: } f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

где $\sigma = \sqrt{D}$ – среднее квадратическое отклонение,

D – дисперсия случайной величины;

μ – математическое ожидание случайной величины.

В формулах (1) и (2) используются параметры среднего квадратического отклонения σ и математического ожидания μ для генеральной совокупности – множества всех объектов, подлежащих измерению.

Обрабатываемые результаты измерений (РИ) берутся из выборки, которая представляет собой часть генеральной совокупности объема n .

Аналогами μ и σ для выборки являются среднее арифметическое выборки \bar{x} (координата центра распределения) и среднее квадратическое отклонение выборки (СКО) S :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

где x_i – значение входной величины в i -ой точке измерений;

i – порядковый номер точки измерений, $i = 1, \dots, n$;

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

где x_i – значение входной величины в i -ой точке измерений;

\bar{x} – среднее арифметическое значение n независимых измерений;

i – порядковый номер точки измерений, $i = 1, \dots, n$.

Оценки числовых характеристик законов распределения (центра распределения и СКО) называются точечными.

Эти оценки являются случайными величинами и зависят от объема выборки и вида закона распределения.

В этой связи оценки должны обладать следующими свойствами:

1 Состоятельность: точность результатов измерений повышается с увеличением объема выборки n . По формуле

$$D(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n} \quad (5)$$

можно заметить, как дисперсия случайной величины уменьшается с увеличением числа измерений n . Таким образом, оценка \bar{x} величины x называется состоятельной, если $D(\bar{x}) \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$.

2 Несмещенность: при вычислении оценки \bar{x} не появляется дополнительная систематическая погрешность, а оценка $E(\bar{x})$ совпадает с измеряемым значением, то есть $E(\bar{x}) = x$.

3 Эффективность. Определяется с помощью неравенства Рао-Крамера для несмещенных оценок:

$$D(\bar{x}) \geq \left[n \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\partial \ln f\left(\frac{y}{x}\right)}{\partial x} \right)^2 f\left(\frac{y}{x}\right) dx \right]^{-1} = D^* \quad (6)$$

где $f(y/x)$ – плотность вероятности случайного вектора $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ при фиксированном значении x оцениваемой случайной величины X .

Таким образом, дисперсия оценки \bar{x} не может быть меньше некоторой величины D^* , зависящей от закона распределения результатов опыта и объема выборки. Следовательно, D^* – это минимально возможная дисперсия, которую можно достичь при заданном законе распределения СВ.

Для несмещенных оценок величина

$$e(\bar{x}) = \frac{D^*}{D(\bar{x})} \quad (7)$$

называется эффективностью этой оценки.

Эффективной называется оценка, для которой $e(\bar{x}) = 1$. Для всех других оценок эффективность представляет собой положительную правильную дробь. Если $e(\bar{x}) \rightarrow 1$ при $n \rightarrow \infty$, то оценка \bar{x} называется асимптотически эффективной.

Свойство эффективности позволяет сравнивать между собой оценки, найденные различными способами, по числу измерений n , необходимому для достижения одинаковой дисперсии оценки.

Как правило, каждому закону распределения ошибок измерений соответствует определенный вид эффективной оценки \bar{x} и, следовательно, способ ее нахождения.

Например, для нормального закона распределения среднеарифметическая оценка является эффективной. В таком случае

$$f\left(\frac{y}{x}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y-x)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (8)$$

Учитывая, что

$$\frac{\partial \ln f\left(\frac{y}{x}\right)}{\partial x} = \frac{\partial \ln \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}}{\partial x} - \frac{\partial \ln \frac{1}{2\sigma^2}(y-x)^2}{\partial x} = \frac{2(y-x)}{2\sigma^2} = \frac{y-x}{\sigma^2}, \quad (9)$$

минимально возможная дисперсия имеет вид:

$$D^* = \left[n \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{(y-x)^2}{\sigma^4} \right)^2 f\left(\frac{y}{x}\right) dx \right]^{-1} = \left(n \frac{\sigma^2}{\sigma^4} \right)^{-1} = \frac{\sigma^2}{n}. \quad (10)$$

Подставляя найденные дисперсии $D(\bar{x})$ и D^* в формулу (7), получаем

$$e(\bar{x}) = \frac{D^*}{D(\bar{x})} = 1 \quad (11)$$

для нормального закона распределения. Так, при законах распределения, отличных от нормального, эффективность $e(\bar{x}) < 1$.

1.2 Равноточные и неравноточные измерения

Согласно принятой в метрологии классификации, измерения по характеру точности подразделяются на

- равноточные;
- неравноточные.

Термин равноточных измерений указан в Рекомендациях по межгосударственной аттестации РМГ 29-1999 (РМГ), утративших свою силу. Согласно [2], равноточные измерения – это ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью. В действующей редакции РМГ 29-2013 определения равноточности и неравноточности были исключены. Так, ссылаясь на действующие Рекомендации, данные виды измерений можно охарактеризовать с определенной точностью в условиях повторяемости.

К условиям повторяемости относят:

- используемый метод измерений;
- средства измерений;
- условия окружающей среды;
- количество операторов;
- промежуток времени между измерениями [3].

Термин «равноточные» измерения является не совсем корректным, поэтому в данной работе используются определения «равнодисперсных» и «неравнодисперсных» измерений.

Измерения распределяются по различным классам. В частности, равноточные и неравноточные измерения классифицируются по точности. Как известно, точность измерений – это близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины [3]. Иными словами, точность отражает близость к нулю погрешности результата измерений. Следовательно, характеристикой точности в измерениях является погрешность, как одна из точечных оценок.

На рисунке 2 представлен график плотности вероятности случайной величины с такими оценками, как погрешность $\pm \Delta$ и стандартное отклонение σ .

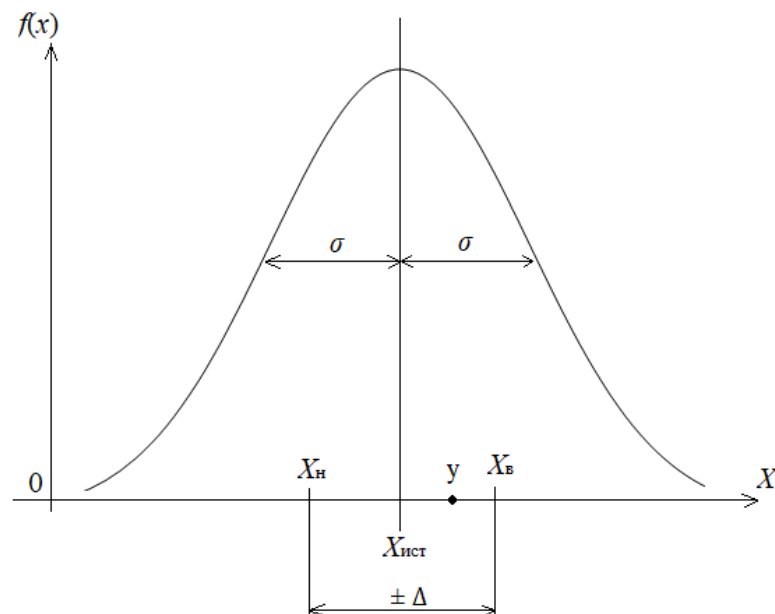


Рисунок 2 – График плотности вероятности случайной величины с пределами погрешности и стандартного отклонения

Так, при использовании терминов «равноточные» и «неравноточные» измерения имеется ввиду, что случайная величина отклоняется от истинного значения $X_{\text{ист}}$ на величину погрешности $\pm \Delta$. Результат измерений в таком случае имеет вид:

$$y = X_{\text{ист}} \pm \Delta. \quad (12)$$

В данной работе целью применения терминов «равнодисперсные» и «неравнодисперсные» измерения является отразить меру рассеивания случайной величины относительно ее истинного значения $X_{\text{ист}}$ (математического ожидания). Мерой рассеивания будет являться стандартное отклонение σ , а результат измерений будет записан как

$$y = X_{\text{ист}} \pm \sigma. \quad (13)$$

Как видно из рисунка, такие характеристики, как $\pm \Delta$ и σ имеют разные значения величины. Соответственно, в рамках данной работы термины «равноточные» и «неравноточные» измерения заменены на «равнодисперсные» и «неравнодисперсные» измерения, что в большей степени отражает свойства, которыми должны обладать оценки результатов измерений.

Примером равнодисперсных измерений могут быть измерения напряжения величиной 3 В, сгенерированные источником сигнала. Измерения проводят одним и тем же средством измерений, одним оператором, в одной лаборатории и в одних и тех же условиях окружающей среды. Промежуток времени между измерениями – минимально возможный в данных условиях измерений.

На рисунке 3 представлены равнодисперсные измерения в условиях повторяемости.

Таким образом, при проведении измерений находят среднеквадратическое отклонение измерений, которое будет равным для принятого объема выборки N . Следовательно, для нахождения наилучшей оценки результатов измерений x_1, \dots, x_n применима формула среднеарифметического выборки \bar{x} .

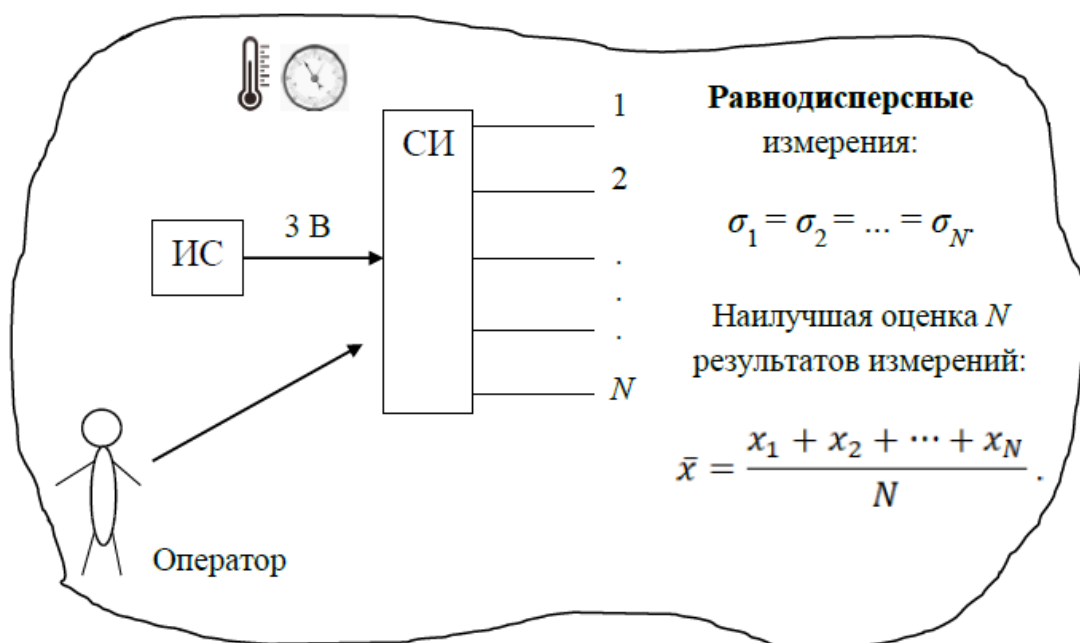


Рисунок 3 – Равнодисперсные измерения в условиях повторяемости

В практике исследовательских работ часто встречаются ситуации, когда необходимо найти наиболее достоверное значение величины и оценить его возможные отклонения от истинного значения на основании измерений, проводимых разными экспериментаторами, с применением различных средств и методов измерений, в разных лабораториях или условиях. Получаемые при этом результаты измерений называются неравноточными (или более правильно – неравнодисперсными).

Неравноточные измерения – это ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях [2]. В таких случаях необходимо прибегать к методам обработки результатов неравноточных (неравнодисперсных) измерений.

При использовании термина «неравноточные измерения» не стоит задача отразить меру расхождения результатов измерений от принятого значения. Неравнодисперсные измерения представлены на рисунке 4.

В случае неравнодисперсных измерений, очевидно, что вследствие нарушения условий повторяемости такая оценка, как дисперсия случайной величины σ_i перестает быть одной и той же для выборок N_i , полученных различными средствами измерений. Следовательно, применить среднее

арифметическое для нахождения наилучшей оценки результатов измерений не представляется возможным. В таком случае используются различные методы обработки результатов неравнодисперсных измерений. Зачастую ряд неравнодисперсных измерений обрабатывают с учетом веса отдельного измерения w_i , входящего в ряд.

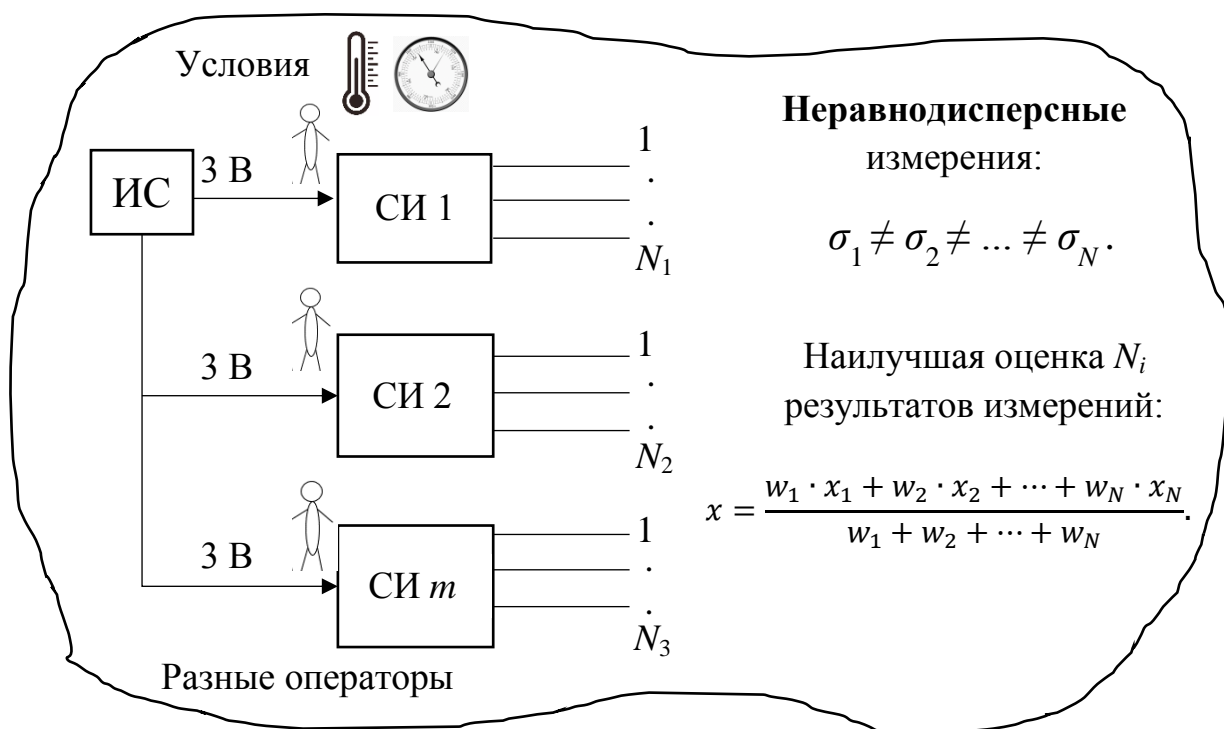


Рисунок 4 –Неравнодисперсные измерения

В настоящее время существует проблема объединения двух или более независимых измерений одной и той же физической величины (ФВ), поэтому обработка неравнодисперсных измерений требует применения различных методов, таких как

- метод среднего взвешенного;
- метод IF&PA.

Каждый из перечисленных методов будет рассмотрен в последующих разделах.

2 Метод среднего взвешенного

Метод среднего взвешенного основан на расчете среднего арифметического значения набора чисел x_1, \dots, x_n , в котором учтены веса w_1, \dots, w_n каждого из чисел, для которых рассчитывается среднее значение.

Применяется данный метод тогда, когда оценить значение величины не представляется возможным с помощью применения среднего арифметического. Среднее арифметическое значение имеет ряд недостатков:

1 Неточность полученного значения. Среднее арифметическое нарушает свойство робастности (надежности) в статистике вследствие влияния значительных отклонений. Робастность определяется как свойство статистического метода, характеризующее независимое влияние выбросов на значение величины, устойчивость к помехам.

2 При применении к переменным, изменяющимся циклически, могут возникать сдвиги по числовому диапазону относительно действительного среднего значения. Такими переменными могут быть фаза, угол. Например, среднее значение между углами 2° и 360° при расчете по принятой формуле будет равным $(2^\circ + 360^\circ)/2 = 181^\circ$. Это число является некорректным по нескольким причинам:

- угловые меры определены для диапазона от 0° до 360° . Так, значения 2° и 360° можно заменить на 2° и 0° . Тогда среднее значение станет равным $(2^\circ + 0^\circ)/2 = 1^\circ$;

- значение 1° будет геометрически ближе к 0° , чем 181° , соответственно, у значения 1° будет наименьшая дисперсия [5].

Таким образом, метод среднего взвешенного обеспечивает робастность значению величины при возникающих условиях измерений, в то время как применение среднего арифметического может привести к грубой погрешности.

В данной работе проведен сравнительный анализ методов обработки результатов неравноточных измерений: среднего взвешенного и IF&PA на

основе лабораторных измерений напряжения U переменного тока в следующих точках диапазона на пределе 8 В (частота $f = 20$ кГц):

$$U_1 = 1 \text{ В } (U_{1д} = 0,965404 \text{ В});$$

$$U_2 = 5 \text{ В } (U_{2д} = 5,05063 \text{ В});$$

$$U_3 = 7 \text{ В } (U_{3д} = 7,02490 \text{ В}),$$

где $U_{ид}$ – условно-истинное значение, принятое в рамках данных измерений.

На рисунке 5 приведена схема получения оценок методами IF&PA и среднего взвешенного.

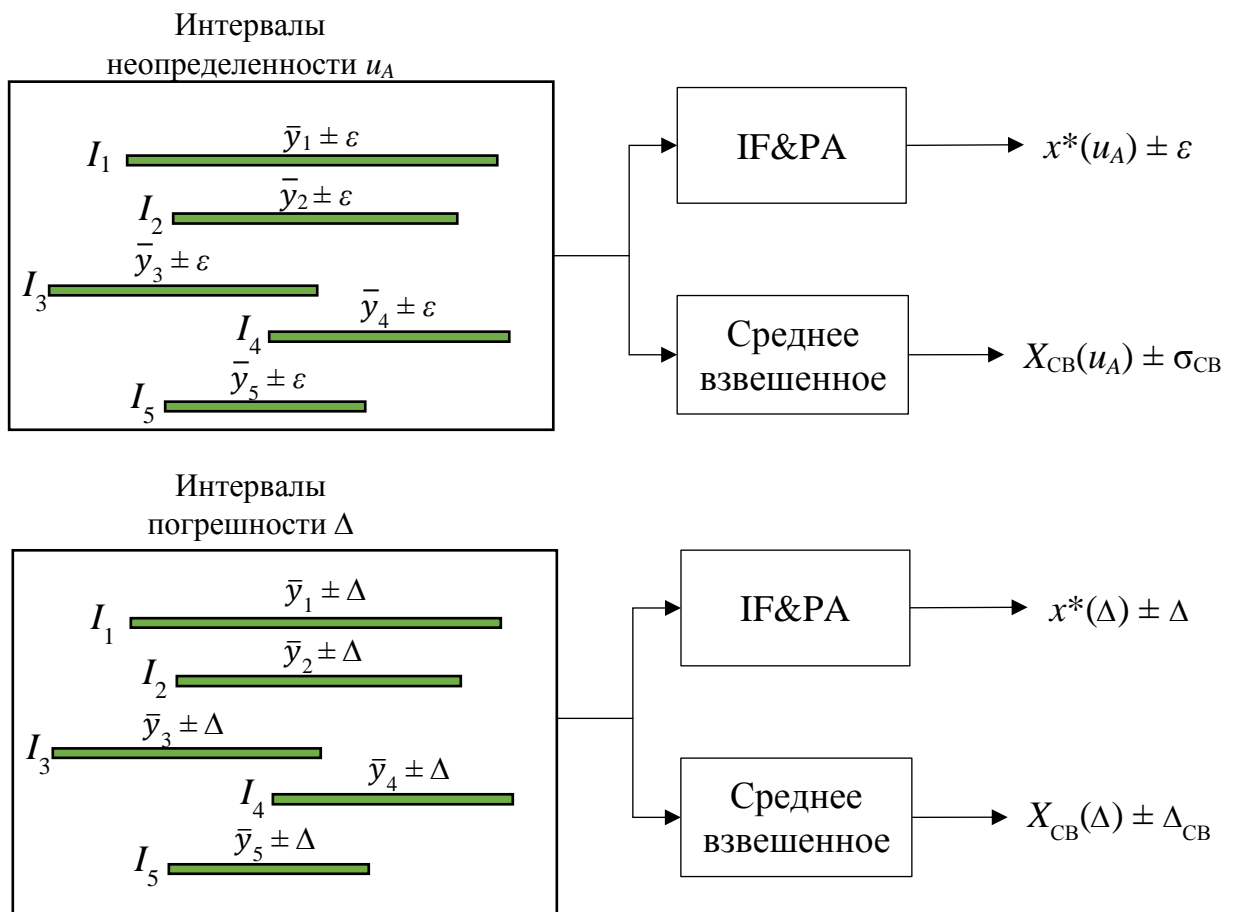


Рисунок 5 – Схема получения оценок методами IF&PA и среднего взвешенного

Стоит отметить, что одно из условий повторяемости равнодисперсных измерений нарушено (различные средства измерений), следовательно, данные измерения будут определяться как неравнодисперсные.

Условно-истинные значения $U_{ид}$ были получены прецизионным мультиметром типа 3458A. В качестве задающего источника напряжения взят

генератор AWG-4110. Измеренные значения напряжений U_i переменного тока были получены с помощью пяти средств измерений одного типа – вольтметров В7-38М.

На рисунке 6 представлен внешний вид мультиметра 3458А.



Рисунок 6 – Внешний вид мультиметра 3458А

Метрологические характеристики мультиметра 3458А приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики мультиметра 3458А

Диапазон	Частота	Разрешающая способность	Предел допускаемой основной погрешности
1 В	1 Гц – 10 МГц	0,00001 В	$\pm (7 \cdot 10^{-5} \cdot D_{изм} + 2 \cdot 10^{-5} E)$ В
10 В			
Примечание: $D_{изм}$ – измеренное значение напряжения переменного тока; E – предел измерений.			

На рисунке 7 представлен внешний вид генератора AWG-4110.



Рисунок 7 – Внешний вид генератора AWG-4110

Метрологические характеристики генератора AWG-4110 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Метрологические характеристики генератора AWG-4110

Наименование величин	Характеристики генераторов для каналов:	
	Канал 1	Канал 2

Форма сигнала	Синусоидальный, прямоугольный, пилообразный, импульсный сигнал, сигналы произвольной формы и гауссова шума	
Диапазон размаха выходного напряжения с подключенной нагрузкой 50 Ом (включен режим «50 Ом»)	От 2 мВ до 10 В (< 10 МГц) От 2 мВ до 5 В (> 10 МГц)	От 2 мВ до 3 В
Диапазон размаха выходного напряжения без подключения нагрузки (включен режим «High Z»)	От 4 мВ до 20 В (< 10 МГц) От 4 мВ до 10 В (> 10 МГц)	От 4 мВ до 6 В
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности установки размаха выходного напряжения (частота 100 кГц, размах напряжения менее 5 В)	$\pm (0,03 \times U_{уст} + 1 \text{ мВ})$	
Примечание: $U_{уст}$ – размах выходного напряжения переменного тока, установленного на генераторе.		

На рисунке 8 представлен внешний вид вольтметра В7-38М.



Рисунок 8 – Внешний вид вольтметра В7-38М

Метрологические характеристики вольтметра В7-38М приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические характеристики вольтметра В7-38М

Диапазон	Частота	Разрешающая способность	Предел допускаемой основной погрешности
8 В	50 Гц – 20 кГц	0,1 мВ	$\pm (0,8 \% \cdot U_{изм} + 50 \text{ е.м.р.}) \text{ В}$
<i>Примечание:</i> $U_{изм}$ – измеренное значение напряжения переменного тока; е.м.р. – единица младшего разряда.			

Соединение перечисленных средств измерений и источника сигнала производилось на лабораторном макете, приведенном на рисунке 9.

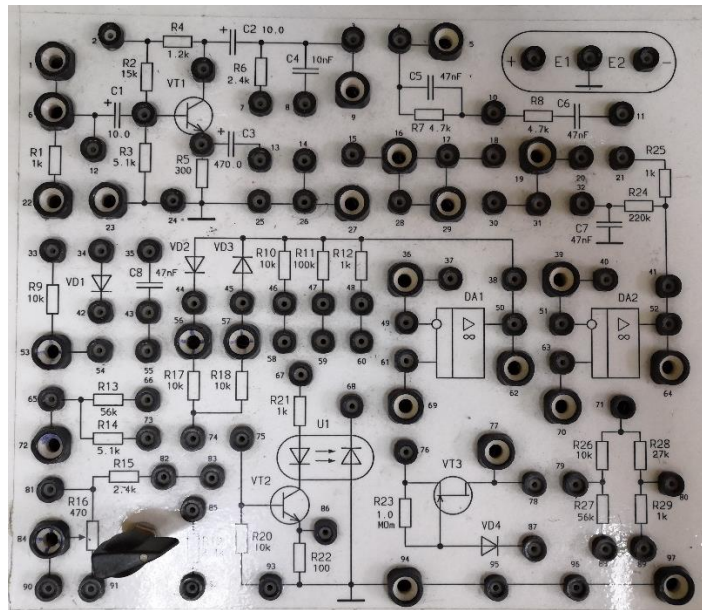


Рисунок 9 – Лабораторный макет для соединения источника и средств измерений в общую измерительную установку

На рисунке 10 приведен внешний вид измерительной системы для получения значений напряжений U_i переменного тока.

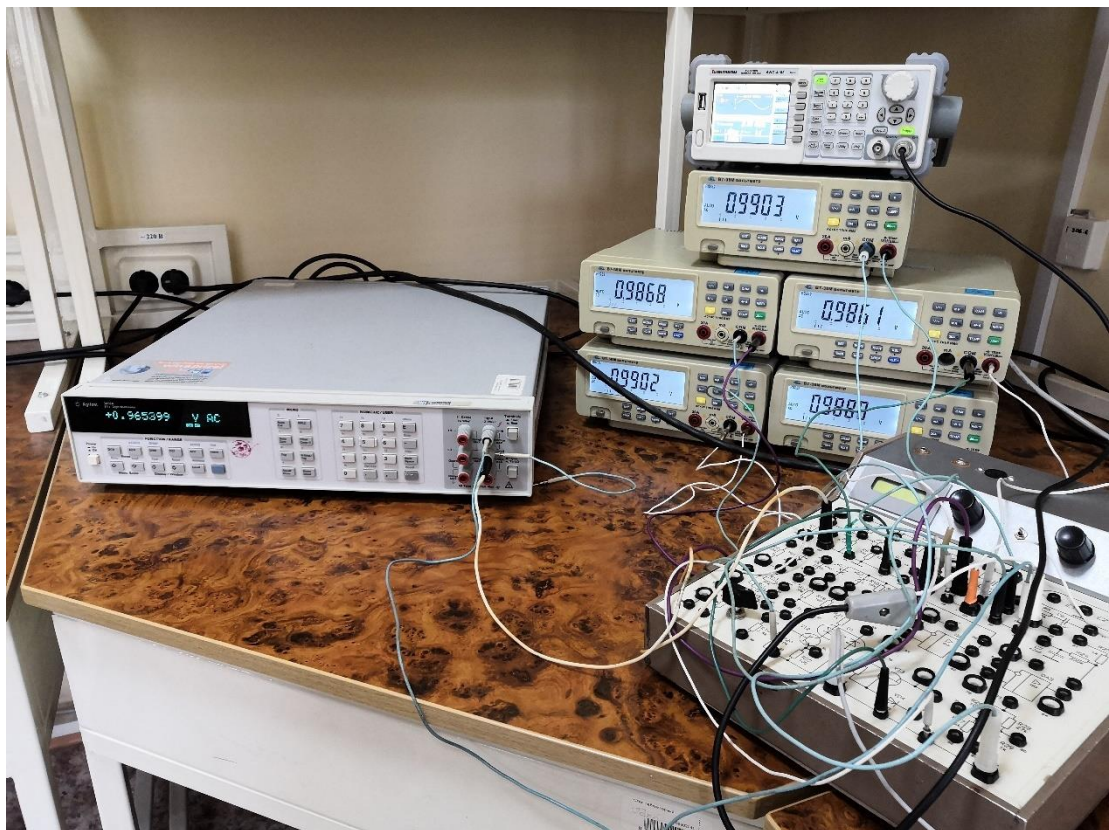


Рисунок 10 – Внешний вид измерительной установки для получения значений напряжений U_i переменного тока

В данной работе проведен сравнительный анализ точности методов среднего взвешенного и IF&PA по двум характеристикам:

1. В случае оценивания с интервалами неопределенности по типу А:

$\varepsilon = \sigma_{\text{СВ}}$ – для метода среднего взвешенного;

ε – для метода IF&PA;

2. В случае оценивания с интервалами максимально допускаемой погрешности:

$\varepsilon = \Delta_{\text{СВ}}$ – для метода среднего взвешенного;

$\varepsilon = \Delta$ – для метода IF&PA.

Результаты измерений будут записаны как:

$$(X \pm \varepsilon) \text{ В}, \quad (13)$$

где $X = X_{\text{СВ}}$ – оценка, полученная методом среднего взвешенного;

$X = x^*$ – оценка, полученная методом IF&PA.

При расчете средневзвешенной оценки $X_{\text{СВ}}$ по приведенным ниже формулам (13) – (18) за σ принимается неопределенность по типу А – u_A .

При проведении измерений величины U пятью средствами измерений (СИ) одного типа $n = 10$ раз, были получены следующие результаты:

$$\text{СИ}_1: x = x_1 \pm \varepsilon_1;$$

$$\text{СИ}_2: x = x_2 \pm \varepsilon_2;$$

$$\text{СИ}_3: x = x_3 \pm \varepsilon_3;$$

$$\text{СИ}_4: x = x_4 \pm \varepsilon_4;$$

$$\text{СИ}_5: x = x_5 \pm \varepsilon_5.$$

Результат x_1, \dots, x_5 – есть результат (оценка) нескольких многократных измерений экземпляров СИ. Тогда x_1 будет являться средним для всех измерений с индексом 1 с отклонением ε_1 от среднего (аналогично для других x_i и $\varepsilon_i, i = 1, \dots, 5$). Задача состоит в том, чтобы наилучшим образом объединить $x_1 \dots x_5$ для средневзвешенной оценки $X_{\text{СВ}}$.

Следует отметить, что в случае, когда разность $|x_1 - x_i|$ между двумя измерениями значительно больше, чем отклонения ε_1 и ε_i , это говорит о том, что в каком-либо из измерений допущена систематическая погрешность.

Предположим, что измерения x_1, \dots, x_5 совместимы, т.е., расхождение $|x_1 - x_i|$ незначительно больше, чем ε_1 и ε_i . Для нахождения обобщенной оценки $X_{\text{СВ}}$ применение среднего арифметического значения недопустимо, так как отклонения $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_5$ не равны между собой. В дополнении ко всему, использование среднего, определяемого как $(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)/5$, подразумевает равную значимость обоих измерений, в то время как более точное значение в выборке должно иметь больше веса (значимости) [4].

Для решения данной проблемы используется принцип максимальной вероятности. Предположим, что все измерения подчиняются распределению Гаусса, стремящиеся к истинному значению X . Таким образом, вероятность получения определенного значения x_i будет равна

$$P_x(x_i) = \frac{1}{\sigma_i} e^{-(x_i - X)^2 / 2\sigma_i^2}, \quad (13)$$

где σ_i – отклонение от оценки;

x_i – среднее значение для каждой i -й выборки;

X – истинное значение измеряемой величины.

Аналогичная формула используется для вычисления вероятностей $P_x(x_i)$ получения различными СИ определенного значения x_i . Из формулы (12) видно, как вероятность $P_x(x_i)$ зависит от неизвестного истинного значения X .

Для того, чтобы найти общую вероятность того, что с помощью СИ_{*i*} будет получено значение x_i , необходимо умножить полученные вероятности $P_x(x_i)$ друг на друга. Полученное произведение вероятностей, обозначенное как $P_x(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, будет включать в себя экспоненциальную функцию, экспонента которой будет равна сумме экспонент вероятностей. Произведение $P_x(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} P_x(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= P(x_1) \cdot P(x_2) \cdot P(x_3) \cdot P(x_4) \cdot P(x_5) = \\ &= \frac{1}{\sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \cdot \sigma_4 \cdot \sigma_5} e^{-\chi^2/2}, \end{aligned} \quad (14)$$

где
$$\chi^2 = \left(\frac{x_1 - X}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{x_2 - X}{\sigma_2}\right)^2 + \left(\frac{x_3 - X}{\sigma_3}\right)^2 + \left(\frac{x_4 - X}{\sigma_4}\right)^2 + \left(\frac{x_5 - X}{\sigma_5}\right)^2.$$

Метод максимального правдоподобия, который был популяризован Р. Фишером в математической статистике, основан на оценивании неизвестного параметра путём максимизации функции правдоподобия. Так, наилучшая оценка для неизвестного значения X_{CB} – это такое значение, при котором полученные оценки x_i являются наиболее вероятными. То есть, наилучшей оценкой для X_{CB} является значение, при котором вероятность максимальна или эквивалентна минимальной величине χ^2 , и, чтобы найти наилучшую оценку, необходимо продифференцировать по X и приравнять к нулю:

$$2 \frac{x_1 - X}{\sigma_1} + 2 \frac{x_2 - X}{\sigma_2} + 2 \frac{x_3 - X}{\sigma_3} + 2 \frac{x_4 - X}{\sigma_4} + 2 \frac{x_5 - X}{\sigma_5} = 0. \quad (15)$$

Решение данного уравнения для X будет являться наилучшей оценкой, которую можно представить в виде

$$X = \left(\frac{x_1}{\sigma_1^2} + \frac{x_2}{\sigma_2^2} + \frac{x_3}{\sigma_3^2} + \frac{x_4}{\sigma_4^2} + \frac{x_5}{\sigma_5^2}\right) / \left(\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \frac{1}{\sigma_3^2} + \frac{1}{\sigma_4^2} + \frac{1}{\sigma_5^2}\right) = 0. \quad (16)$$

Для более упрощенной формы уравнение (16) можно преобразовать, обозначив веса оценок:

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad (17)$$

где σ_i – отклонение, определяемое как неопределенность по типу А.

С помощью данных обозначений уравнение (16) примет вид:

$$X = X_{CB} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + w_4 x_4 + w_5 x_5}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5}. \quad (18)$$

Если у двух оценок равны неопределенности ($\sigma_i = \sigma_j$, и, следовательно, $w_i = w_j$), то решение сводится к нахождению среднего значения:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5}. \quad (19)$$

В случае, когда $w_i \neq w_j$, то оценка средневзвешенного значения X_{CB} не совпадает со средним арифметическим \bar{X} .

Если какое-либо из i -го измерения является более точным, чем j -ое измерение, то его отклонение $\sigma_i < \sigma_j \rightarrow w_i > w_j$, поэтому наилучшая оценка X ближе к x_i , чем к x_j .

Граница σ_i интервалов неопределенности i -ой выборки определяется по формуле

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{w_i}}, \quad (20)$$

где w_i – вес i -ой оценки измерения.

Общий интервал неопределенности $\varepsilon = \sigma_{CB}$ средневзвешенной оценки X_{CB} равна обратному квадратному корню из суммы i -х весов:

$$\sigma_{CB} = \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}}. \quad (21)$$

В таблице 4 – 6 приведены результаты измерений напряжения U переменного тока и точечные оценки (неопределенность по типу А и максимально допускаемая погрешность).

Таблица 4 – Результаты измерений напряжения U_1 переменного тока

	$U_1 = 1 \text{ В } (U_{1д} = 0,965404 \text{ В})$				
n	$СИ_1$	$СИ_2$	$СИ_3$	$СИ_4$	$СИ_5$
1	0,9988	0,9910	0,9924	0,9887	0,9930
2	0,9893	0,9925	0,9944	0,9885	0,9938
3	0,9889	0,9909	0,9923	0,9887	0,9930
4	0,9893	0,9924	0,9944	0,9894	0,9931
5	0,9891	0,9910	0,9925	0,9888	0,9929
6	0,9889	0,9909	0,9923	0,9887	0,9931
7	0,9889	0,9912	0,9928	0,9888	0,9935
8	0,9889	0,9912	0,9928	0,9886	0,9932
9	0,9891	0,9914	0,9930	0,9888	0,9931
10	0,9897	0,9911	0,9925	0,9894	0,9932
$X_{\text{среднее}}$	0,9901	0,9914	0,9929	0,9888	0,9932
σ_i	0,0031	0,0006	0,0008	0,0003	0,0003
w_i	106020	2826633	1550654	10416666	13867488
$x_i \cdot w_i$	104970	2802211	1539707	10300416	13773050
$\sum w_i$	28767463				
$X_{CB}, \text{ В}$	0,9914				
σ_{CB}	0,0002				
Δ_{CB}	0,0129				

Таким образом, в результате применения метода среднего взвешенного, были получены следующие результаты измерений, представленные в таблице 7.

Таблица 5 – Результаты измерений напряжения U_2 переменного тока

	$U_2 = 5 \text{ В } (U_{2д} = 5,05063 \text{ В})$				
n	СИ ₁	СИ ₂	СИ ₃	СИ ₄	СИ ₅
1	4,9546	4,9593	4,9682	4,9469	4,9734
2	4,9519	4,9562	4,9648	4,9440	4,9704
3	4,9576	4,9627	4,9716	4,9502	4,9768
4	4,9547	4,9594	4,9682	4,9470	4,9734
5	4,9493	4,9532	4,9617	4,9412	4,9674
6	4,9548	4,9595	4,9682	4,9471	4,9736
7	4,9578	4,9627	4,9717	4,9502	4,9769
8	4,9522	4,9563	4,9650	4,9442	4,9705
9	4,9613	4,9664	4,9754	4,9535	4,9804
10	4,9581	4,9630	4,9717	4,9502	4,9770
$X_{\text{среднее}}$	4,9552	4,9599	4,9687	4,9475	4,9740
σ_i	0,0036	0,0039	0,0041	0,0037	0,0039
w_i	79224	64358	60030	74107	66246
$x_i \cdot w_i$	392576	319211	298268	366643	329509
Σw_i	343967				
$X_{\text{СВ}}, \text{ В}$	4,9604				
$\sigma_{\text{СВ}}$	0,0017				
$\Delta_{\text{СВ}}$	0,0447				

Так, метод средневзвешенного значения основан на учете значимости (веса) каждой из оценок измерений, повышая точность средневзвешенной оценки $X_{\text{СВ}}$.

Стоит отметить, что данный метод имеет ряд недостатков. Во-первых, основываясь на измерениях напряжения U переменного тока одним оператором и разными СИ, можно утверждать, что оценки x_1, \dots, x_5 , полученные из разных выборок (набора измеренных значений), соответственно, имеют неодинаковые дисперсии ($\sigma_i \neq \sigma_j$). Во-вторых, для нахождения оценки $X_{\text{СВ}}$ метод среднего взвешенного применим при условии, что измерения имеют нормальный закон

распределения. Таким образом, перед применением метода необходимо предположить гипотезу о нормальном законе распределения и проверить ее.

Как правило, вид закона распределения принимается равным нормальному, исходя из общей практики.

Таблица 6 – Результаты измерений напряжения U_3 переменного тока

	$U_3 = 7 \text{ В } (U_{3д} = 7,02490 \text{ В})$				
n	$СИ_1$	$СИ_2$	$СИ_3$	$СИ_4$	$СИ_5$
1	6,9323	6,9430	6,9536	6,9209	6,9605
2	6,9376	6,9500	6,9596	6,9266	6,9660
3	6,9271	6,9361	6,9476	6,9156	6,9550
4	6,9179	6,9242	6,9371	6,9056	6,9450
5	6,9274	6,9363	6,9476	6,9155	6,9552
6	6,9378	6,9503	6,9597	6,9269	6,9664
7	6,9226	6,9304	6,9424	6,9105	6,9502
8	6,9181	6,9244	6,9370	6,9056	6,9453
9	6,9274	6,9364	6,9478	6,9157	6,9551
10	6,9329	6,9435	6,9539	6,9215	6,9610
$X_{\text{среднее}}$	6,9281	6,9375	6,9486	6,9164	6,9560
σ_i	0,0072	0,0094	0,0082	0,0077	0,0076
w_i	19510	11394	14871	16963	17143
$x_i \cdot w_i$	135171	79049	103337	117324	119249
Σw_i	79883				
$X, \text{ В}$	6,9368				
σ_{CB3}	0,0035				
Δ_{CB}	0,0605				

Таблица 7 – Представление результатов измерений двумя характеристиками точности по методу среднего взвешенного

Номиналы, В	Характеристика точности	
	Неопределенность по типу А (σ_{CB})	Максимально допускаемая погрешность (Δ_{CB})
1	(0,99141 ± 0,00019) В	(0,991 ± 0,013) В
5	(4,9604 ± 0,0017) В	(4,96 ± 0,05) В
7	(6,937 ± 0,004) В	(6,94 ± 0,06) В

В настоящее время существует проблема в выборе метода обработки результатов неравноточных измерений, который бы не зависел от ряда ограничений. В следующем разделе предложен метод обработки таких результатов, основанный на объединении интервалов с агрегированием предпочтений.

3 Метод IF&PA

Метод IF&PA (interval data fusion with preference aggregation) – это метод обработки набора данных, представленных в виде интервала для каждого такого набора, предназначенный для нахождения общего интервала (оценки), который соответствует максимальному количеству заданных интервалов.

Так, например, можно найти наилучшую оценку для неравнодисперсных измерений, полученных различными СИ, операторами, в различных условиях окружающей среды.

Стоит отметить, что данный метод применим как к согласованным, так и к несогласованным данным.

Согласованными данные считаются в случае, когда они имеют общую характеристику, которой максимально соответствуют. Тогда можно сказать, что данные обладают свойствами согласованности, целостности и непротиворечивости. Данные несогласованные, если они не обладают перечисленными свойствами.

На рисунке 11 приведены согласованные и несогласованные данные на примере значений, полученных в результате измерений величин X и Y .

Из рисунка 10а видно, как точки близко расположены друг к другу. Это говорит о том, что у полученных значений наблюдается явная зависимость и соответствие между ними определенному свойству. Можно предположить, что таким свойством является зависимость параметров (наличие корреляции).

На рисунке 11б точки с номерами 4, 8, 10, 12, 14 удалены от общей зависимости, которая наблюдается у большинства значений. Поэтому данные точки не обладают свойством корреляции, что говорит об их несогласованности и отсутствии общего признака.

Такие измерения также называют совместными и несовместными. Как правило, метод представления значений на графике способствует выявлению свойств, которыми обладают результаты измерений.

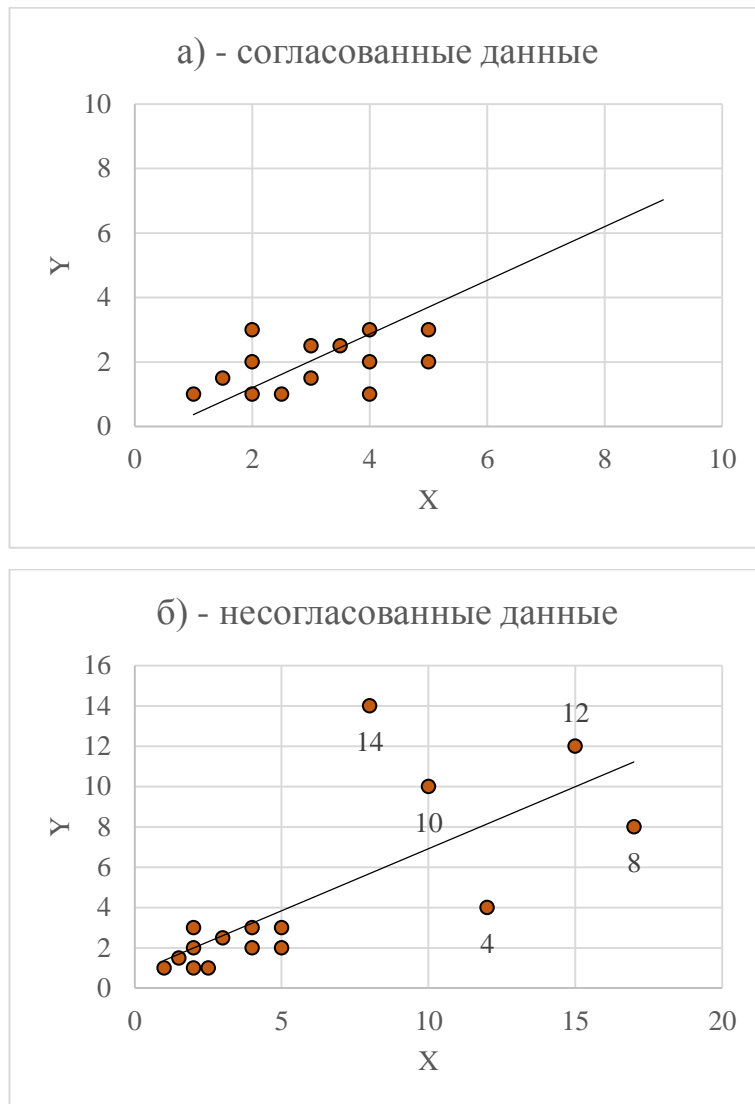


Рисунок 11 – Согласованные и несогласованные измерения

Метод IF&PA основан на представлении интервалов слабыми отношениями порядка (ранжированиями), принадлежащими этим интервалам. Можно определить консенсусное ранжирование (оценку) для набора ранжированных значений, соответствующих начальным интервалам.

Так, наилучшее ранжированное значение обладает точностью и робастностью (надежностью) выходных данных после этапа объединения интервалов [5]. Интервалы считаются пространством слабых порядков, вызванным самими интервалами, их свойствами и размерностью.

Основной задачей при нахождении решения методом IF&PA является выбор числа значений, входящих в интервальные данные.

В данном разделе приводится поэтапное описание алгоритма метода, его терминологии, законов, на основе которых разработан метод, а также результаты вычислительных экспериментов и их анализ.

Объединение интервальных данных может применяться в межлабораторных сличениях, прогнозировании значений фундаментальных констант на основе различных измеренных значений, проверке соответствия, повышении точности в измерительных экспериментах.

Результаты, полученные методом IF&PA, представленные в виде интервалов, можно записать в общепринятом виде:

$$x^* = \bar{y}_i \pm \varepsilon_i = y + |\varepsilon_i|, i = 1, \dots, m, \quad (22)$$

где x^* – измеряемая величина (среднее значение среди повторных измерений);

\bar{y}_i – результат i -го измерения величины;

ε_i – точечная оценка, за которую принимают неопределенность i -го измерения по типу А (ε) или максимально допускаемую погрешность (Δ) применяемого средства измерений;

m – количество выборок (средств измерений) величины.

За границы неопределенности $\pm \varepsilon$ принимают значение неопределенности измерений по типу А, используя формулу для расчета среднеквадратического отклонения:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (23)$$

где u_A – неопределенность измерений по типу А;

y_i – значение входной величины в i -ой точке измерений;

\bar{y} – среднее арифметическое значение n повторных измерений;

i – порядковый номер точки измерений, $i = 1, \dots, n$.

Стоит отметить, что интервалы могут быть представлены не только границами неопределенности, но и границами погрешности СИ:

$$y_i = \bar{y}_i \pm \Delta = y + |\Delta|, i = 1, \dots, m, \quad (24)$$

где Δ – максимально допускаемая погрешность средства измерений (определяется в паспорте как допускаемая основная погрешность в зависимости от типа СИ).

Границы неопределенности и погрешности определяют длину каждого из интервалов, а значения \bar{y}_i определяют их середину.

3.1 Параметрические и непараметрические методы оценки результатов неравноточных измерений

Помимо разработанного метода IF&PA, существуют классические методы обработки прямых повторных измерений, описанные в различных материалах в области метрологии [6 – 8]. Методы позволяют найти суммарное значение \bar{y} как среднее арифметическое и его расширенную неопределенность на основе данных выборки, принадлежащих одной группе измерений (например, серия многократных измерений для заданной величины), где наблюдения y_i были получены одним и тем же оператором, с помощью одних и тех же методов и инструментов, в одинаковых условиях окружающей среды. Предполагается, что неопределенность измерений (оценка величины) является несмещенной, то есть, математическое ожидание $E(\varepsilon_i) = 0$, а значения неопределенностей ε каждой из выборок предполагаются независимыми и имеют одинаковые дисперсии, т.е. $D(\varepsilon_i) = \sigma^2$ для всех i . Такие наблюдения считают равнодисперсными, то есть, равномерно распределенными случайными величинами [9].

Предположим, что у интервалов отсутствуют границы, то есть, $\varepsilon_i = 0$. Тогда оценка величины y из m уравнений будет определяться по формуле

$$y = y_i, i = 1, \dots, m. \quad (25)$$

Чтобы найти общее решение для системы из m уравнений, используют приближенное значение (оценку)

$$\bar{y} = f(y_1, y_2, \dots, y_m), \quad (26)$$

что удовлетворительно для всех m уравнений. Функция φ имеет минимум в точке, где производная равна нулю, то есть, $\frac{d\varphi}{dx} = 2 \sum_{i=1}^m (\bar{y} - y_i)$, откуда и возникает оценка \bar{y} :

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i, \quad (27)$$

где \bar{y} – это арифметическое среднее результатов измерений y_i ;
 i – порядковый номер точки измерений, $i = 1, \dots, m$.

На практике m уравнения являются несовместными, так как интервалы всегда имеют границы (отклонения от действительного значения). В таком случае можно проверить, как интервалы неопределенности влияют на приближенную оценку. Предположим теперь, что $\varepsilon_i \neq 0$ и подставим формулу (24) в формулу (27). Тогда получим

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y + \varepsilon_i). \quad (28)$$

В случае, если границы интервалов $E(\varepsilon_i) = 0$, математическое ожидание оценки (28) определяется по формуле

$$\mu = E(y) = E \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y + \varepsilon_i) \right] = E \left(\frac{my}{m} \right) + E \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \right) = y. \quad (29)$$

Из (29) следует, что уравнение (28) совпадает с измеряемой величиной y , то есть, оценка является несмещенной.

Так как дисперсия $D(\varepsilon) = E[\varepsilon - E(\varepsilon)]^2$ и $D(a\varepsilon) = a^2 D(\varepsilon)$, если $a = \text{const}$, получим дисперсию оценки:

$$\begin{aligned} D(\bar{x}) &= D \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y + \varepsilon_i) \right] = D \left(\frac{my}{m} \right) + D \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \right) = \\ &= \frac{1}{m^2} \sum_{i=1}^m D(\varepsilon_i) = \frac{m\sigma^2}{m^2} = \frac{\sigma^2}{m}. \end{aligned} \quad (30)$$

Отсюда следует, что дисперсия $D(\bar{x})$ оценки \bar{y} в \sqrt{m} раз меньше стандартного отклонения σ .

Метод IF&PA обладает свойствами точечных оценок: несмещенности, согласованности, а также эффективности, которые справедливы при нормальном распределении $N(\mu, \sigma^2)$ результатов измерений [10].

Зачастую возникают ситуации, когда необходимо найти наиболее приближенную оценку величины и ее неопределенность на основе неравнодисперсных измерений, когда $D(\varepsilon_i) = \sigma_i^2 \neq D(\varepsilon_{i+1}) = \sigma_{i+1}^2$, $i = 1, \dots, m - 1$. В таком случае применение среднего арифметического становится некорректным вследствие неравных между собой дисперсий.

Обработка данных неравнодисперсных измерений может применяться в следующих случаях:

- оценка ключевых сравнительных данных, предоставленных национальным метрологическим институтом для единого транспортируемого эталона [11, 12];
- оценка неопределенности фундаментальной физической константы;
- выявление нескорректированных систематических погрешностей измерений, требующее вовлечения нескольких операторов [13];
- межлабораторные сличения для оценки компетентности калибровочных или измерительных лабораторий, в которых одни и те же измерения выполняются различными лабораториями, методами [14, 15];
- анализ данных периодических калибровок СИ, накопленные за определенный период, в которых точность повторных измерений отличается в связи с изменением метрологических характеристик СИ (МХ СИ) во времени.

Таким образом, для нахождения общей оценки измеряемой величины при неравнодисперсных измерениях применяют взвешенное среднее арифметическое с параметрами $N(\mu, \sigma_i^2)$, где вес результата измерения x_i является обратным квадратом соответствующей стандартной неопределенности [16].

Стоит отметить, что метод среднего взвешенного может быть применен в случае, если результаты измерений (РИ) характеризуются нормальным распределением вероятности.

Таким образом, статистические методы обработки интервалов имеют множество ограничений на допустимые свойства входных интервалов, такие как

- нормальность (серии) распределений вероятностных данных,
- независимость наблюдений,
- условие равнодисперсности,
- отсутствие выбросов и т. д.

Обычно рекомендуется использовать непараметрические методы, так как из-за меньших ограничений они являются более надежными, чем параметрические [20, 21]. Непараметрические методы позволяют обрабатывать данные с выбросами, малым объемом выборок (менее десяти), однако имеют значительно меньшую эффективность в тех случаях, когда РИ достаточно хорошо приближены к нормальному распределению.

Параметрические методы основаны на применении различных критериев для исключения выбросов (например, критерий Стьюдента, критерий Хи-квадрат), позволяя провести оценку таких параметров, как среднее значение, стандартное отклонение, неопределенность и исключить выбросы.

Параметрический метод используется для проверки согласованности РИ в различных лабораториях посредством оценивания лабораторных неопределенностей, различий в процентном соотношении, основанных на вычислении надежного среднего арифметического и стандартного отклонения. Авторы в [17] указывают на тот факт, что многие из параметрических методов неприменимы, так как число участвующих лабораторий, как правило, невелико ($m < 10$). Помимо этого, исключение выбросов может привести к удалению важных данных [18].

Метод IF&PA не основан на статистических свойствах и не использует параметрические и непараметрические критерии, нацеленные на определение статистической значимости. Такой подход называется объединением интервальных данных, что характеризует его интервально-ориентированную специфику.

Объединение данных – это процесс совместной обработки данных какого-либо объекта, полученных от нескольких источников (операторов) с целью нахождения среди них более объективного и достоверного решения, относящегося к исследуемой характеристике.

Под интервалом объединения данных понимается процедура формирования такого интервала, который должен соответствовать максимальному количеству заданных начальных интервалов (необязательно согласованных между собой), а также быть максимально робастным, включая значение x^* , которое может служить представителем всех заданных интервалов. Интервал слияния результатов x^* имеет такие параметры, как среднее арифметическое \bar{x} и взвешенное среднее y .

Отличительной особенностью предложенного интервала объединения данных является представление интервалов на реальной линии отношениями слабых порядков (или ранжированиями) по набору дискретных значений, принадлежащих этим интервалам. Так, на множестве вещественных чисел отношения «больше» и «меньше» являются отношениями строгого порядка, а «больше или равно» и «меньше или равно» – слабого.

Интервал, соответствующий максимальному количеству заданных начальных интервалов, позволяет определить ранжирование консенсуса для набора дискретных значений. За начальный интервал принимается интервал, сформированный измеренными значениями, полученными одним из СИ_{*i*} средств измерений.

Следующий подраздел посвящен пояснению применяемых определений и обозначений ранжирований интервалов, а также приведен пошаговый алгоритм для применения метода IF&PA.

3.2 Алгоритм и опробование метода IF&PA

Опробование метода IF&PA было произведено на примере измерений напряжения U переменного тока в цепи с помощью пяти средств измерений

одного типа (вольтметров типа В7-38 М) в трех точках диапазона (1, 5, 7 В) на частоте $f = 20$ кГц по 10 многократных измерений в каждой, как и в методе среднего взвешенного:

$$\text{СИ}_1: y = \bar{y}_1 \pm \varepsilon_1;$$

$$\text{СИ}_2: y = \bar{y}_2 \pm \varepsilon_2;$$

$$\text{СИ}_3: y = \bar{y}_3 \pm \varepsilon_3;$$

$$\text{СИ}_4: y = \bar{y}_4 \pm \varepsilon_4;$$

$$\text{СИ}_5: y = \bar{y}_5 \pm \varepsilon_5.$$

На рисунке 12 приведена схема входных и выходных параметров при проведении измерений.

Здесь U_1, U_2, U_3 – это номинальные (измеряемые) значения величины напряжения переменного тока; y_i^1, \dots, y_i^{10} – измеренные значения в каждой i -ой точке измерений; \bar{y}_i – среднее значение для i -ой точки измерений, рассчитываемое, как среднее арифметическое.

При проведении измерений за условно истинные значения были приняты следующие точки:

$$U_1 = 1 \text{ В } (U_{1д} = 0,965404 \text{ В});$$

$$U_2 = 5 \text{ В } (U_{2д} = 5,05063 \text{ В});$$

$$U_3 = 7 \text{ В } (U_{3д} = 7,02490 \text{ В}),$$

Применение данного метода основано на ранжировании m интервалов $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, на действительной линии. Каждый интервал характеризуется нижней границей l_k , верхней границей u_k и средней точкой x_k так, что $I_k = [l_k, u_k]$; $l_k < x_k$; $x_k = 0,5 \cdot (u_k + l_k)$; $l_k, u_k, x_k \in R$. Интервал I_k представлен на рисунке 13.

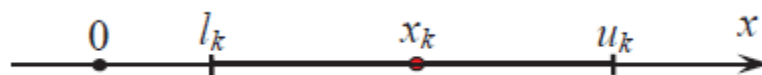


Рисунок 13 – Интервал I_k на действительной линии

Средняя точка x_k – это результат нескольких измерений, интервал неопределенности которой равен $[x_k - 0,5 \cdot (u_k - l_k), x_k + 0,5 \cdot (u_k - l_k)] = [x_k - \varepsilon_k, x_k + \varepsilon_k]$. В этом случае, k -ый интервал может быть представлен параметрами (x_k, ε_k) .

За x_k принимается среднее значение \bar{y}_i для i -ой точки измерений. Количество интервалов в данном случае будет равным $k = 5$.

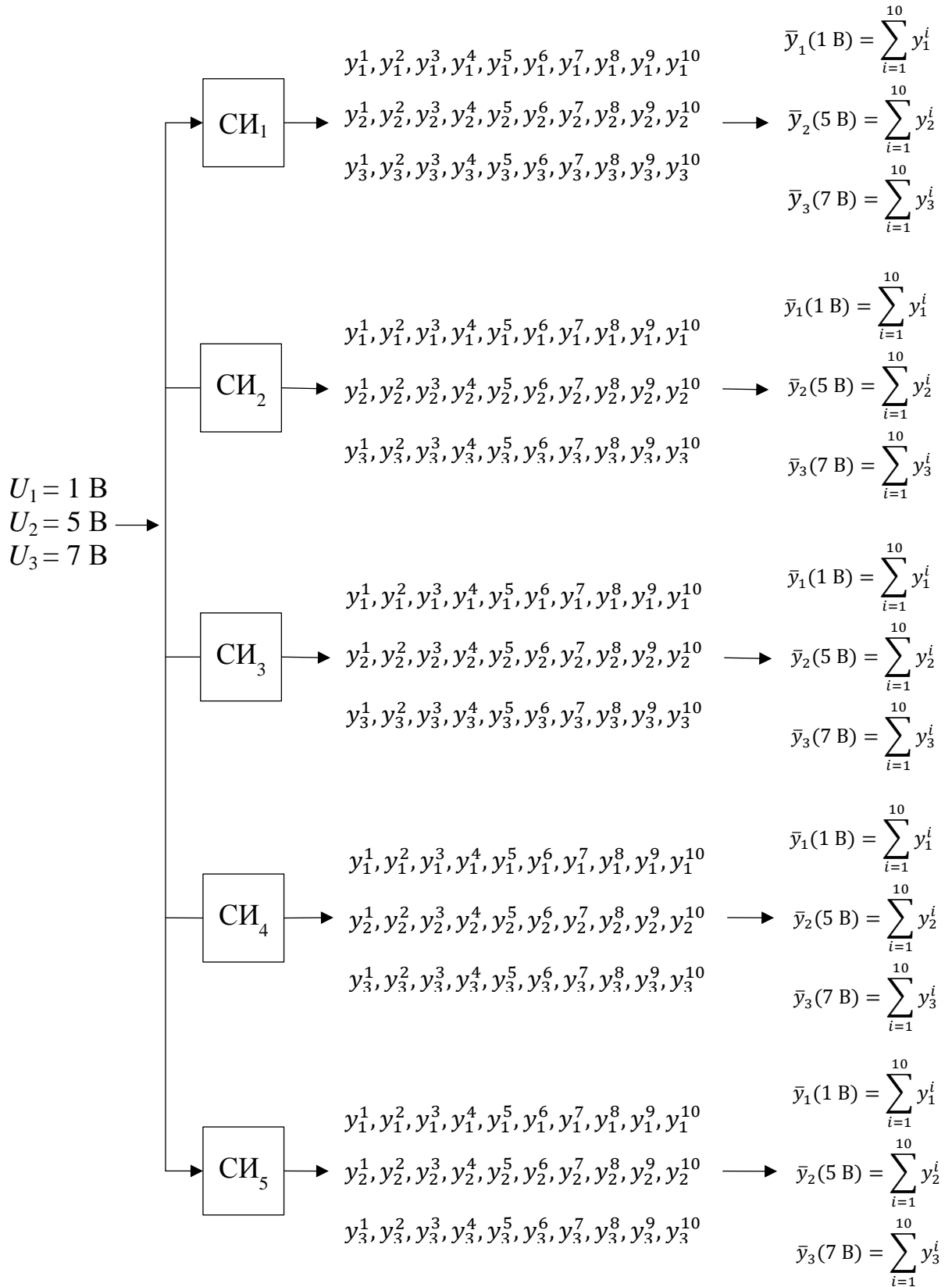


Рисунок 12 – Схема входных и выходных параметров при проведении измерений

Любые два интервала не обязательно должны иметь пересечение, то есть, могут быть такие два интервала I_j и I_k , $j \neq k$; $j, k = 1, \dots, m$, что $I_j \cap I_k \neq \emptyset$. Такие два интервала называются несовместимыми (случай несогласованных измерений, когда некоторые значения сильно рассеяны от общего количества значений в выборке и не имеют общей точки пересечения).

Стоит отметить, что целью объединения интервалов является выбор точки x^* на действительной линии, которая принадлежит максимальному количеству интервалов $\{I_k\}$. Для этого необходимо выбрать минимальную и максимальную точку и определить диапазон актуальных значений (range of actual values – RAV) $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, в котором существует отношение полного порядка $a_1 < a_2 < \dots < a_n$. a_1 – это минимальная точка, находящаяся в интервале неопределенности, равная, как правило, нижней границе l_k ; a_n – это максимальная точка, находящаяся в интервале неопределенности, равная верхней границе u_k .

Диапазон RAV является объединением интервалов $\{I_k\}$, охватывая весь диапазон измеренных значений от x_{min} до x_{max} и предназначен для последующего разбиения результата объединения на равные подинтервалы.

Так, с помощью диапазона RAV формируется дискретное множество A , начиная с заданных непрерывных интервалов $\{I_k\}_{k=1}^m$, в три этапа, показанных на рисунке 13.

Существование несовместимых интервалов может привести к их разрыву, и, чтобы исключить возможные разрывы, наименьшую нижнюю границу для всех интервалов выбирают как нижнюю границу RAV a_1 :

$$a_1 = \min \{l_k | k = 1, \dots, m\}, \quad (31)$$

а в качестве верхней границы a_n берется наибольшая граница для всех интервалов:

$$a_n = \max \{u_k | k = 1, \dots, m\}. \quad (32)$$

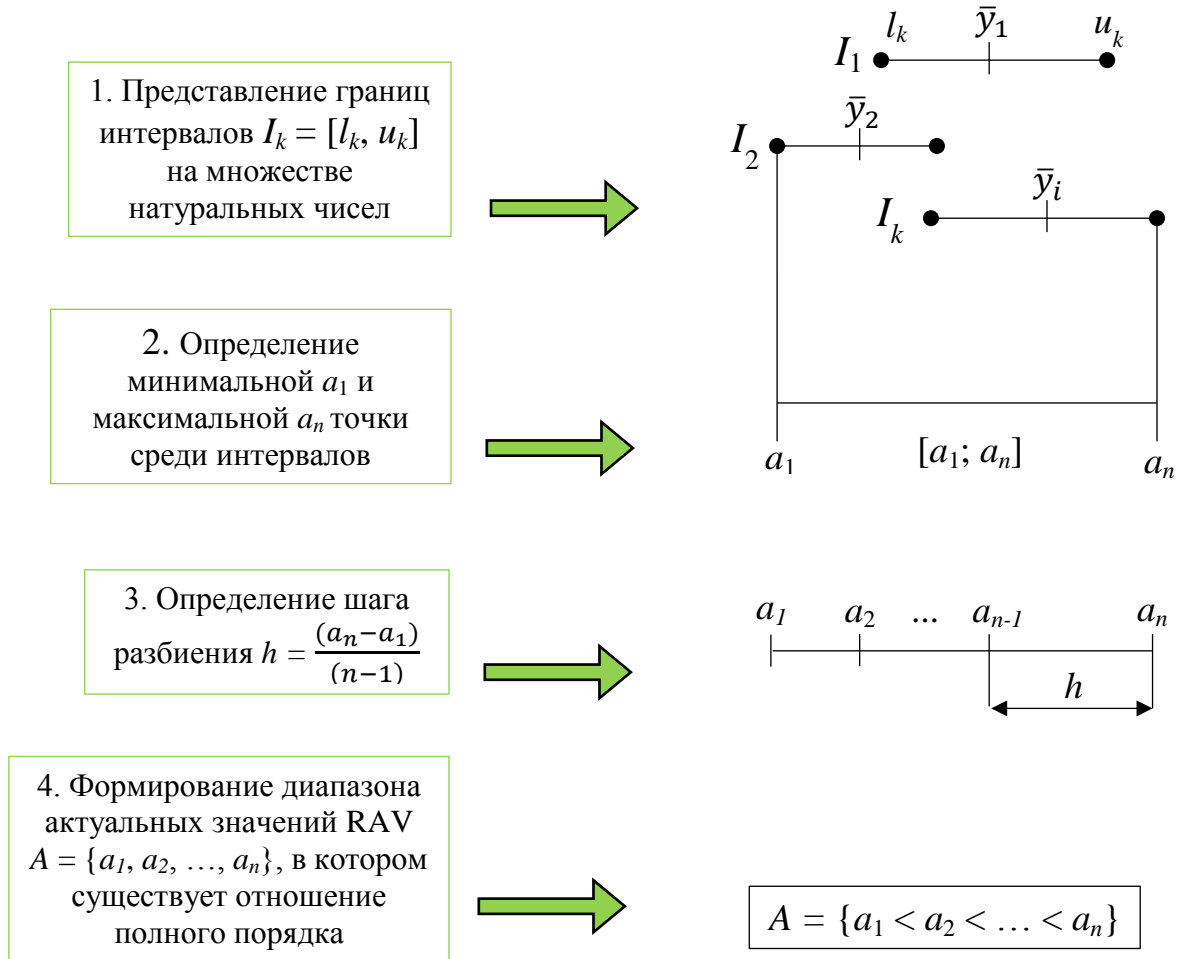


Рисунок 13 – Этапы формирования из непрерывных дискретных значений диапазона RAV

Для того, чтобы сгенерировать элементы a_2, a_3, \dots, a_{n-1} , необходимо разделить полученный интервал $[a_1, a_n]$ на $n - 1$ равных подинтервала длиной

$$h = (a_n - a_1)/(n - 1). \quad (33)$$

Длина h будет называться критерием (или сеткой) разделения. После разделения критерий будет определяться по формуле

$$h = |a_i - a_{i-1}|, i = 2, \dots, n, \quad (34)$$

и i -ый элемент RAV определяется как

$$a_i = a_{i-1} + h, i = 2, \dots, n. \quad (35)$$

На третьем этапе необходимо выбрать подходящее число n , которое является количеством элементов множества A и должен гарантировать

необходимую и достаточную точность значений $a_i, i = 1, \dots, n$, и только одно из них будет принято за результат слияния интервалов x^* .

Теперь множество $A = \{a_1 < a_2 < \dots < a_n\}$ полностью упорядоченных дискретных значений $a_i, i = 1, \dots, n$ можно использовать для формирования ранжирования, представляющего интервалы $\{I_k\}_{k=1}^m$.

Оказывается, не все возможные слабые порядки на множестве A могут представлять интервалы $\{I_k\}_{k=1}^m$. Такие интервалы называют инранжированиями внутри интервалов.

Для любого интервала I_k множество A можно рассматривать как объединение двух непересекающихся подмножеств: подмножество A_k , включающее все те элементы A , которые принадлежат интервалу I_k , и дополнение \bar{A}_k , включающее все остальные элементы A , то есть $A = A_k \cup \bar{A}_k$, $A_k \cap \bar{A}_k = \emptyset$, для любого $k = 1, \dots, m$. Данные операции представлены на рисунке 14.

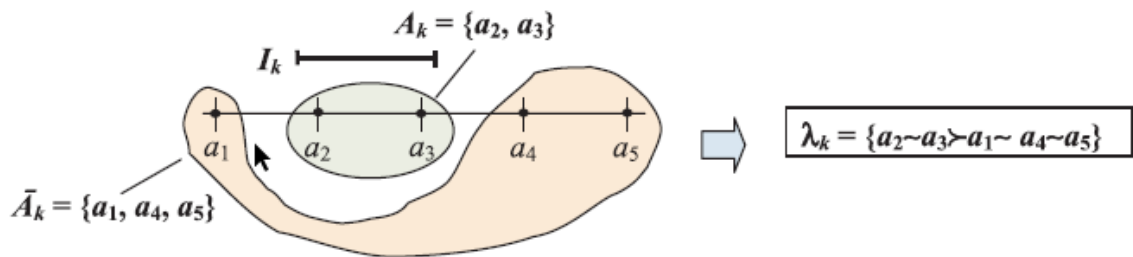


Рисунок 14 – Пример разделения множества A на два подмножества: A_k и \bar{A}_k на некотором интервале I_k и соответствующее ему ранжирование λ_k .

Тогда для любого $k = 1, \dots, m$ некоторое k -ое ранжирование λ_k , происходящее от интервала I_k и состоящее из элементов множества A , должно удовлетворять следующим условиям для $i, j = 1, \dots, n$:

$$a_i \in A_k \wedge a_j \notin A_k \Rightarrow a_i > a_j; \quad (36)$$

$$a_i, a_j \in A_k \vee a_i, a_j \notin A_k \Rightarrow a_i \sim a_j; \quad (37)$$

$$a_i \notin A_k \wedge a_j \in A_k \Rightarrow a_i < a_j. \quad (38)$$

Ранжирования в пределах интервала формируются отношениями слабых и строгих порядков.

Так, k -ое ранжирование можно рассматривать как состоящее из двух эквивалентных классов, состоящих из элементов множеств A_k и $\overline{A_k}$. Более того, элементы класса A_k строго предпочтительнее элементов класса $\overline{A_k}$, то есть, всегда $\lambda_k = A_k \succ \overline{A_k}$. Следовательно, ранжирование содержит один символ строгого порядка « \succ » и $n - 2$ символа эквивалентности « \sim ».

Например, одно из возможных ранжирований для $n = 5$ может быть $\lambda_k = \{a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$, которое представлено на рисунке 14, где $A_k = \{a_2 \sim a_3\}$, $\overline{A_k} = \{a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$ и $A_k \succ \overline{A_k} = \{a_2 \sim a_3\} \succ \{a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$.

Ряд элементов $\{a_i\}$ множества A довольно монотонен, поскольку $a_i < a_{i+1}$ для всех $i \in N$. Ясно, что класс $A_k \subseteq A$ может включать только последовательные подэлементы A без пропусков, как представлено на рисунке 9, то есть, индексы этих элементов должны составлять числа из натурального ряда. Это означает, что разность индексов любой пары соседних элементов a_i и a_j от A_k не может быть больше 1, т.е. выполняется следующее условие:

$$a_i, a_j \in A_k, \quad (39)$$

где соседние натуральные числа равны $j = i + 1$.

Ранжирование, которое удовлетворяет уравнениям (35) – (39), называется инранжированием. Таким образом, совокупность интервалов $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, может быть представлена профилем предпочтений $\Lambda\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$, где любое λ_k является инранжированием.

Процедура объединения интервальных данных методом агрегирования предпочтений применима на множестве A дискретных значений, полученных способом, описанным выше, который позволяет представлять интервалы ранжированиями. Основные этапы предлагаемой процедуры IF&PA приведены на рисунке 15.

Этапы предлагаемой процедуры IF&PA и заключаются в следующем:

Этап 1. Формирование диапазона фактических значений из начальных интервалов $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, вычисление шага h и разбиение RAV на подинтервалы, чтобы получить множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, используя уравнения. (31) - (35).

Этап 2. Составление инранжирований в соответствии с уравнениями (36) - (39) и формирование профиля предпочтения $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$.

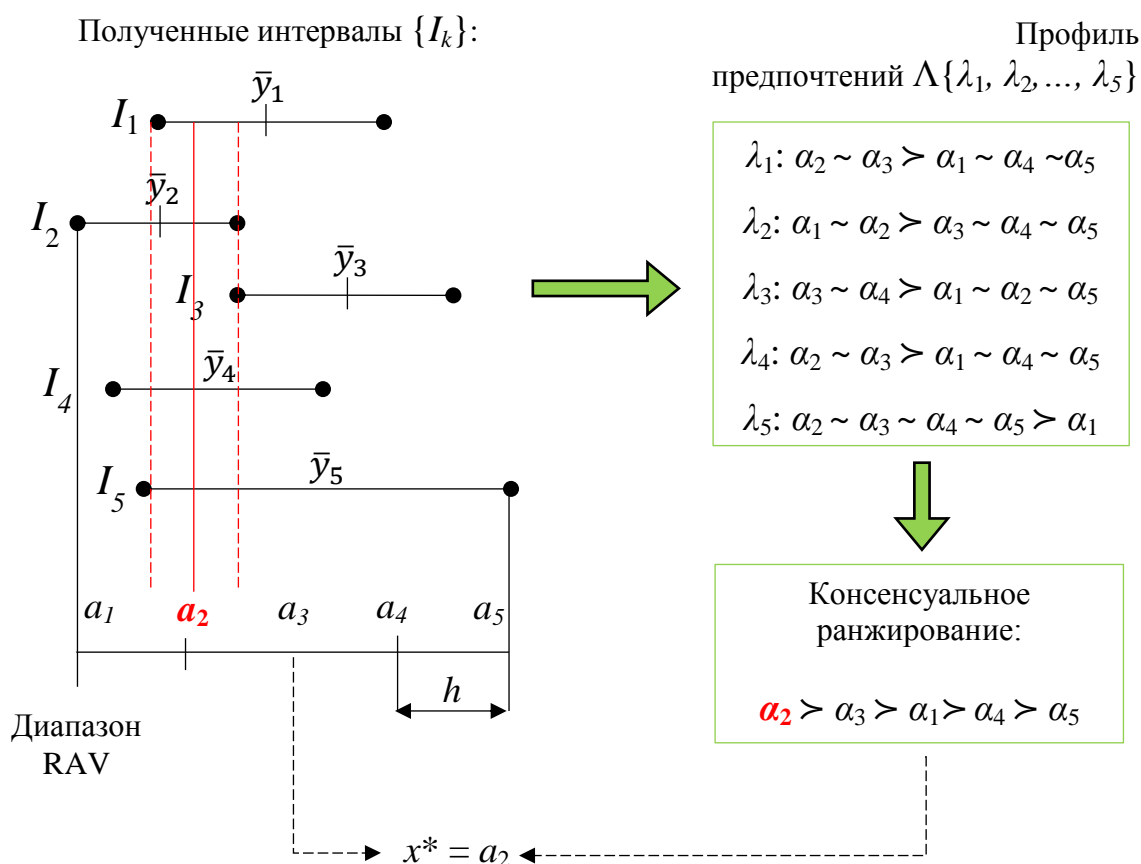


Рисунок 15 – Этапы нахождения наилучшей оценки методом IF&РА

Этап 3. Определение значения x^* как наилучшей альтернативы консенсусного ранжирования для профиля Λ . Для этой цели может быть использован любой алгоритм для реализации некоторых правил голосования. В данной работе используется правило Кемени [19]. Алгоритм находит несколько согласованных ранжирований, которые должны образовать единое окончательное консенсусное ранжирование. Все согласованные ранжирования имеют строгий порядок отношений и окончательное консенсусное ранжирование β является слабым порядком [20].

Этап 4. Определение наилучшей оценки – нахождение медианы Кемени) с помощью программного пакета в среде Microsoft Visual C#.

Этап 5. Расчет неопределенности ε^* значения x^* по формуле

$$\varepsilon^* = \max_{k=1,\dots,m'}\{I_k \leq x^*\}, \min_{k=1,\dots,m'}\{u_k \geq x^*\}. \quad (40)$$

Был предложен метод объединения интервальных данных IF&PA на основе представления интервалов на реальной линии посредством ранжирования на множестве принадлежащих этим интервалам дискретных значений. Численные эксперименты показали, что использование наилучшего значения в консенсусном ранжировании гарантирует улучшенную точность и надежность выходных данных.

Предлагаемый метод применим к интервальным данным, полученным в шкале отношений, который преобразует данные в шкалу порядка, и далее определяется лучший объект агрегированием предпочтений. Тем самым лучший объект становится точкой на шкале отношений. Из этого следует, что переход от шкалы отношений к шкале порядка упрощает представление входных данных, что, в свою очередь, характеризует метод IF&PA как надежный и точный.

В таблице 8 приведены вычисления границ неопределенности и погрешности для каждого из номинальных значений напряжения U переменного тока.

Определение оценки произведено с помощью программного пакета в среде Microsoft Visual C#, позволяющего найти решение медианы Кемени результатов измерений с интервалами неопределенности ε и максимально допускаемой погрешности Δ методом IF&PA. При проведении эксперимента шаг разбиения h был выбран от 5 до 10, позволяющий оценить точность полученного результата.

Таким образом, в результате применения методов среднего взвешенного и IF&PA, были получены следующие оценки, представленные в таблицах 9 и 10.

Таблица 8 – Результаты измерений, полученные методом IF&PA

СИ	U, B	Результаты повторных измерений										Среднее значение	Границы погрешности		Границы неопределенности и u_A	
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	\bar{y}	$\bar{y} - \Delta$	$\bar{y} + \Delta$	$\bar{y} - \varepsilon$	$\bar{y} + \varepsilon$
СИ1	$U_1 = 1 B$	0,9988	0,9893	0,9889	0,9893	0,9891	0,9889	0,9889	0,9889	0,9891	0,9897	0,9901	0,9772	1,0030	0,9870	0,9932
	$U_2 = 5 B$	4,9546	4,9519	4,9576	4,9547	4,9493	4,9548	4,9578	4,9522	4,9613	4,9581	4,9552	4,9106	4,9999	4,9517	4,9588
	$U_3 = 7 B$	6,9323	6,9376	6,9271	6,9179	6,9274	6,9378	6,9226	6,9181	6,9274	6,9329	6,9281	6,8677	6,9885	6,9210	6,9353
СИ2	$U_1 = 1 B$	0,9910	0,9925	0,9909	0,9924	0,9910	0,9909	0,9912	0,9912	0,9914	0,9911	0,9914	0,9784	1,0043	0,9908	0,9920
	$U_2 = 5 B$	4,9593	4,9562	4,9627	4,9594	4,9532	4,9595	4,9627	4,9563	4,9664	4,9630	4,9599	4,9152	5,0045	4,9559	4,9638
	$U_3 = 7 B$	6,9430	6,9500	6,9361	6,9242	6,9363	6,9503	6,9304	6,9244	6,9364	6,9435	6,9375	6,8770	6,9980	6,9281	6,9468
СИ3	$U_1 = 1 B$	0,9924	0,9944	0,9923	0,9944	0,9925	0,9923	0,9928	0,9928	0,9930	0,9925	0,9929	0,9800	1,0059	0,9921	0,9937
	$U_2 = 5 B$	4,9682	4,9648	4,9716	4,9682	4,9617	4,9682	4,9717	4,9650	4,9754	4,9717	4,9687	4,9239	5,0134	4,9646	4,9727
	$U_3 = 7 B$	6,9536	6,9596	6,9476	6,9371	6,9476	6,9597	6,9424	6,9370	6,9478	6,9539	6,9486	6,8880	7,0092	6,9404	6,9568
СИ4	$U_1 = 1 B$	0,9887	0,9885	0,9887	0,9894	0,9888	0,9887	0,9888	0,9886	0,9888	0,9894	0,9888	0,9759	1,0018	0,9885	0,9891
	$U_2 = 5 B$	4,9469	4,9440	4,9502	4,9470	4,9412	4,9471	4,9502	4,9442	4,9535	4,9502	4,9475	4,9029	4,9920	4,9438	4,9511
	$U_3 = 7 B$	6,9209	6,9266	6,9156	6,9056	6,9155	6,9269	6,9105	6,9056	6,9157	6,9215	6,9164	6,8561	6,9768	6,9088	6,9241
СИ5	$U_1 = 1 B$	0,9930	0,9938	0,9930	0,9931	0,9929	0,9931	0,9935	0,9932	0,9931	0,9932	0,9932	0,9802	1,0061	0,9929	0,9935
	$U_2 = 5 B$	4,9734	4,9704	4,9768	4,9734	4,9674	4,9736	4,9769	4,9705	4,9804	4,9770	4,9740	4,9292	5,0188	4,9701	4,9779
	$U_3 = 7 B$	6,9605	6,9660	6,9550	6,9450	6,9552	6,9664	6,9502	6,9453	6,9551	6,9610	6,9560	6,8953	7,0166	6,9483	6,9636

Таблица 9 – Представление результатов измерений интервалами неопределенности методами среднего взвешенного и IF&PA

Номиналы $U_i (U_{ид}), В$	Характеристика точности			
	Метод среднего взвешенного	Метод IF&PA (10 разбиений)	Метод IF&PA (7 разбиений)	Метод IF&PA (5 разбиений)
1 (0,96540)	(0,99141 ± 0,00019) В	(0,9930 ± 0,0001) В	-	-
5 (5,05063)	(4,9604 ± 0,0017) В	(4,9703 ± 0,0002) В	(4,9495 ± 0,0016) В	(4,961 ± 0,003) В
7 (7,02490)	(6,937 ± 0,004) В	(6,9453 ± 0,0015) В	(6,9499 ± 0,0016) В	(6,936 ± 0,008) В

Таблица 10 – Представление результатов измерений интервалами погрешности методами среднего взвешенного и IF&PA

Номиналы $U_i (U_{ид}), В$	Характеристика точности			
	Метод среднего взвешенного	Метод IF&PA (10 разбиений)	Метод IF&PA (7 разбиений)	Метод IF&PA (5 разбиений)
1 (0,96540)	(0,991 ± 0,013) В	(0,996 ± 0,016) В	(0,991 ± 0,011) В	(0,984 ± 0,003) В
5 (5,05063)	(4,96 ± 0,05) В	(4,97 ± 0,04) В	(4,96 ± 0,03) В	(4,932 ± 0,019) В
7 (7,02490)	(6,94 ± 0,06) В	(6,94 ± 0,04) В	(6,94 ± 0,04) В	(6,94 ± 0,04) В

Поэтапное нахождение оценки методом IF&PA с интервалами максимально допускаемой погрешности и неопределенности приведены в Приложении А.

Выводы к главе 3:

1. Оценки величины с интервалами неопределенности, полученные методом IF&PA, оказались ближе расположенными к истинному значению величины, при этом, интервалы неопределенности значительно меньше (более, чем в 5 раз), чем интервалы по максимально допускаемой погрешности.

2. Оценка $(4,9703 \pm 0,0002) В$ величины с номиналом 5 В, представленная интервалами по неопределенности и полученная методом IF&PA, расположена ближе к истинному значению, равному 5,05063 В. Интервал, представленный неопределенностью в методе IF&PA, в 8 раз

меньше, следовательно, оценка по этому методу обладает повышенной точностью по сравнению с методом среднего взвешенного.

3. Повышенная точность интервалов, полученных методом IF&PA, наблюдается у всех результатов измерений, кроме оценки $(0,99141 \pm 0,00019)$ В, полученной методом среднего взвешенного. Оценка обладает большей точностью (на величину интервала $\pm 0,0001$ В) и расположена ближе к условно истинному значению, равному 0,965404 В.

4. В методе IF&PA при разбиении измеренных значений на интервалы по неопределенности, интервал I_4 оказался несовместным с интервалами I_2, I_3, I_5 . Причиной такого отклонения может быть наличие систематической погрешности средства измерений СИ₄ (одного из вольтметров типа В7-38 М).

5. Следует отметить, что разность $|x_1 - x_i|$ меньше, чем отклонение ε_i , это говорит о том, что в измерениях отсутствует систематическая составляющая погрешности.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Актуальность научного исследования определяется, прежде всего, коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через данную оценку ученый имеет возможность найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов исследования и открытия бизнеса.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и такими показателями, как востребованность продукта на рынке, его стоимость, удовлетворенность потребителя, бюджет научного проекта, время, необходимое для выхода на рынок и т.д.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования

Инновационный потенциал в своем традиционном понимании подразумевает размер разнообразных ресурсов, которые обеспечивают деятельность инновационного характера с ее начальной точки (научно-исследовательские работы) до конечной (практическое применение знаний) [21].

Проблема оценки инновационного потенциала является актуальной в связи с повышением эффективности научно-технических исследований (НТИ) и зависимости науки и экономики. Поэтому возрастает роль и значение интеллектуальных ресурсов как фактора обеспечения результативности деятельности и конкурентоспособности НТИ.

Для обнаружения потенциальных потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.


Предложенный метод объединения интервальных данных IF&PA может широко применяться в межлабораторных сличениях, прогнозировании значений фундаментальных констант на основе различных измеренных значений, проверке соответствия, повышении точности измерений, голосовании, классификации количественных и неколичественных характеристик, выявлении наиболее уязвимых мест как в самой продукции,

так и в способе ее реализации, нахождении наиболее оптимального из множества решений и т.п.

Из перечисленных сфер можно выявить соответствующие критерии сегментирования. Из выявленных критериев необходимо выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании данных критериев строится карта сегментирования рынка. Наиболее значимыми критериями стали вид деятельности и тип организаций.

В таблице 11 представлена карта сегментирования рынка услуг по применению метода IF&PA.

Таблица 11 – Карта Сегментирования рынка услуг по применению метода IF&PA

Вид деятельности		Типы организаций				
		НИИ	Банки	Административное управление	Научно-производственные фирмы	Заводы
	Метрология					
	Голосование					
	Серийное производство					
	Экономика					
Примечание: Фирма А –  Фирма Б –  Фирма В – 						

Таким образом, основными потребителями результатов НТИ могут быть научно-исследовательские институты (НИИ), банки, административное управление (как в региональном масштабе, так и в масштабах всей страны), научно-производственные фирмы (НПФ), заводы и фабрики. Конкуренты на рынке обозначены как фирмы А, Б и В.

Из таблицы можно выявить ниши, которые не заняты конкурентами:

- метрология для банков и администрации;

- система голосования, применимая к НИИ, банкам, НПФ, заводам;
- серийное производство для банков и администрации;
- экономика для НИИ, НПФ, заводов.

Такие свободные ниши, как метрология и серийное производство для банков и администрации не являются востребованными, так как данный вид деятельности не соответствует типу предприятий.

Так, выявлен низкий уровень конкуренции в таких видах деятельности, как система голосования и экономика для НИИ, банков, НПФ, заводов. Именно данные сегменты рынка являются наиболее привлекательными для разработчика в будущем.

Следующим этапом является анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных разработок.

В данной работе конкурентными разработками для метода IF&PA являются следующие методы:

- метод среднего арифметического (индекс K1);
- метод среднего взвешенного (индекс K2);
- метод наименьших квадратов (индекс K3).

Метод IF&PA обозначен индексом «А» в оценочной карте.

В таблице 12 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных математических методов.

Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных математических методов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _А	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _А	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии ресурсоэффективности									
1. Простота вычисления	0,12	2	5	5	2	0,24	0,24	0,6	0,6
2. Быстрота вычисления	0,12	2	5	4	2	0,24	0,24	0,6	0,48
3. Точность метода	0,12	5	1	3	3	0,6	0,6	0,12	0,36
4. Потребность в программном обеспечении	0,08	4	1	2	3	0,32	0,32	0,08	0,16
5. Возможность автоматизации	0,12	5	5	5	3	0,6	0,6	0,6	0,6
6. Универсальность метода	0,09	5	2	4	3	0,45	0,45	0,18	0,36
Уровень завершенности научного исследования									
1. Наличие автоматизированного метода	0,08	5	5	5	2	0,4	0,4	0,4	0,16
2. Наличие аналогичных методов	0,05	5	5	5	1	0,25	0,25	0,25	0,05
3. Утвержденный уполномоченными службами метод	0,08	1	5	5	5	0,08	0,4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Уровень проникновения на рынок	0,07	1	5	5	3	0,07	0,35	0,35	0,21
2. Бюджет разработанных методов	0,04	5	5	5	5	0,2	0,2	0,2	0,2
3. Послепродажное сопровождение	0,03	1	1	1	1	0,03	0,03	0,03	0,03
Итого:	1	41	45	49	33	3,48	4,08	3,81	3,61

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (41)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки (метода);

B_i – вес показателя (в долях единицах от 0 до 1);

B_i – балл i -го показателя.

Анализируя данную таблицу, можно заметить, что суммарная (итоговая) конкурентоспособность предложенного метода ниже всех остальных. Наиболее низкие показатели, которые повлияли на общую оценку, выделены жирным курсивом. По техническим характеристикам предложенный метод стоит на первом месте, что нельзя сказать об уровне завершенности метода и его экономических показателях. Вследствие того, что метод является нововведением на рынке, такие показатели, как утвержденность уполномоченными службами и уровень проникновения на рынок значительно меньше остальных, что вполне естественно, так как метод новый. Именно данные критерии повлияли на снижение итоговой оценки.

Преимуществом предложенного метода является сильная техническая сторона. Это значит, что продукт является улучшенным решением по сравнению с другими. Однако слабая сторона метода – его малоизвестность. Поэтому необходимо принять соответствующие меры для улучшения узнаваемости на рынке.

4.2 Функционально-стоимостный анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода заключается в том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом [22].

Рассмотрим выполнение каждой стадии подробно.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает метод IF&PA. Однако при выполнении раздела FAST-анализа этот момент необходимо еще раз отразить.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

В рамках данной стадии FAST-анализа метод IF&PA анализируется с позиции функционального устройства. Так, при анализе необходимо выделить и описать следующие функции объекта:

- главную функцию (внешняя функция, определяющая назначение, сущность и главную цель создания объекта в целом);
- основную функцию (внутренняя функция объекта, обеспечивающая принцип работы объекта и создающая необходимые условия для осуществления главной функции);
- вспомогательную функцию (функция, способствующая реализации основных функций).

Информация, полученная при выполнении данной стадии, приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование этапа	Выполняемая функция	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
Определение консенсусного ранжирования	Ф1: обеспечивает нахождение наилучшего решения из большинства возможных	X		
Составление профиля предпочтений λ	Ф2: обеспечивает дальнейшее решение по правилу Кемени		X	
Разбиение значений на I_k интервалы	Ф3: обеспечивает диапазоны неопределенности в каждой группе измерений			X
Запись результата измерений согласно правилам	Ф4: обеспечивает грамотную запись результата измерений			X
Графическое представление промежуточных решений	Ф5: обеспечивает наглядное представление промежуточных решений			X

Необходимо обращать внимание на вспомогательные функции, так как ошибки на данных этапах могут значительно отразиться на общем решении (результате) метода и внести грубую погрешность.

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глуценко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции, которая представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Матрица смежности функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5
Функция 1	=	=	=	>	>
Функция 2	=	=	=	>	>
Функция 3	<	=	=	>	>
Функция 4	<	<	<	=	<
Функция 5	<	<	<	>	=

Примечание: «<» - менее значимая; «=» - одинаковые по значимости функции; «>» - более значимая.

Второй этап связан с преобразованием матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций, которая представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Итого
Функция 1	1	1	1	1,5	1,5	6
Функция 2	1	1	1	1,5	1,5	6
Функция 3	0,5	1	1	1,5	1,5	5,5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	0,5	3
Функция 5	0,5	0,5	0,5	1,5	1	4
<i>Примечание:</i> «<» - 0,5; «=» - 1; «>» - 1,5.						$\Sigma = 24,5$

В рамках третьего этапа происходит определение значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для функции 1 относительная значимость равна $6/24,5 = 0,25$; для функции 2 – $6/24,5 = 0,25$; для функции 3 – $5,5/24,5 = 0,22$; для функции 4 – $3/24,5 = 0,12$ и для функции 5 – $4/24,5 = 0,16$. Обязательным условием является то, что сумма коэффициентов значимости всех функций должна равняться 1.

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью специальных методов оценивается уровень затрат на выполнение каждой функции.

Сделать это возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование этапа	Выполняемая функция	Стоимость материальных затрат, руб	Заработная плата, руб	Общие затраты, руб
Определение консенсусного ранжирования	Ф1: обеспечивает нахождение наилучшего решения из большинства возможных	26	2923,1	2949,1
Составление профиля предпочтений λ	Ф2: обеспечивает дальнейшее решение по правилу Кемени	21,2	584,6	605,8
Разбиение значений на I_k интервалы	Ф3: обеспечивает диапазоны неопределенности в каждой группе измерений	21,2	584,6	605,8
Запись результата измерений согласно правилам	Ф4: обеспечивает грамотную запись результата измерений	20,6	292,3	312,9
Графическое представление промежуточных решений	Ф5: обеспечивает наглядное представление промежуточных решений	23,5	1753,9	1777,4
Итого:		112,5	6138,5	6251,0

Метод вычисления стоимости материальных затрат, расчет заработной платы подробно будет описан в следующем разделе. Главная функция по нахождению консенсусного ранжирования является наиболее затратной как по материальным, так и по временным ресурсам.

Таким образом, информация о затратах на каждую из функций позволит построить функционально-стоимостную диаграмму на следующей стадии.

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы, представленной на рисунке 16.

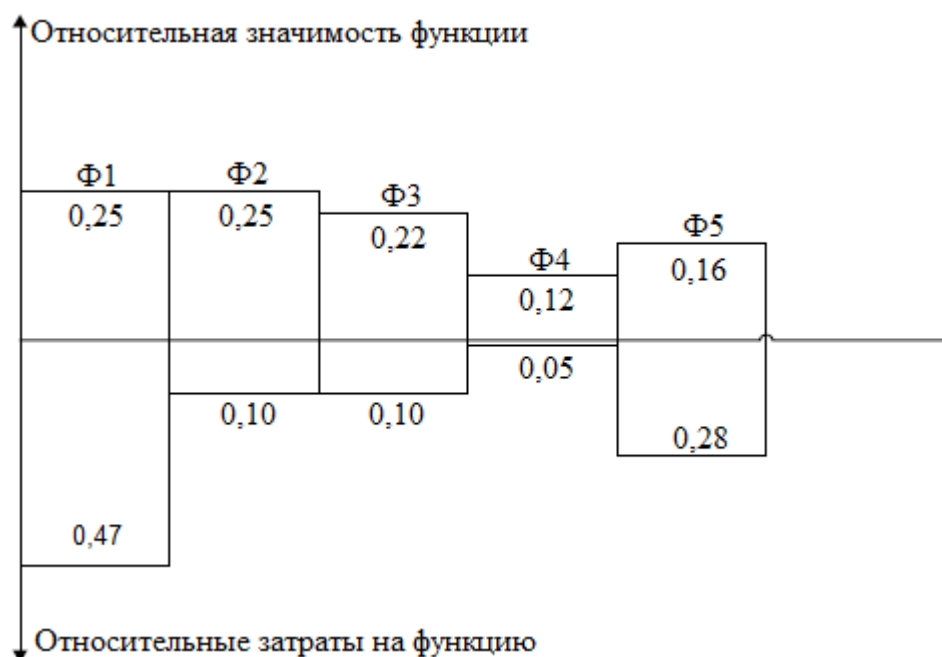


Рисунок 16 – Функционально-стоимостная диаграмма

Построенная функционально-стоимостная диаграмма (ФСД) позволяет выявить диспропорции между значимостью функций и затратами на них. Анализ приведенной выше ФСД показывает заметное наличие рассогласования по функциям Ф1 и Ф4. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

Из ФСД также следует, что наименьшую значимость, как и стоимость, имеет функция Ф4. Такие функции, как Ф1 и Ф5 имеют большие относительные затраты и большую относительную значимость. Стоит отметить, что функция Ф2 хоть и имеет большую относительную значимость, однако требует относительно небольшие затраты на ее осуществление.

Стадия 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

В качестве конкретных шагов, которые необходимо предложить на данном этапе, должны выступать предложения, связанные с экономией за счет:

- применения принципиально новых решений;
- устранения функционального резерва;
- оптимизации параметров;
- унификации этапов метода;
- совмещения функций между этапами;
- оптимизации параметров надежности;
- повышения возможности корректировки;
- применения новых процессов, материалов и т.д.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки (метода) должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемого путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств метода IF&PA;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

4.4 Инициация проекта

Инициация проекта – это стадия проекта, на которой выполняется определенный набор работ для его успешного запуска. В частности, происходит четкое определение целей и задач проекта, разработка устава, идентификация участников и заинтересованных лиц (внешних и внутренних), фиксирование финансовых ресурсов [23].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта имеет следующую структуру:

1. Цели и результат проекта;
2. Организационная структура проекта;
3. Ограничения и допущения проекта.

В первом разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В таблице 17 приведены заинтересованные стороны проекта.

Таблица 17 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
1. Научный руководитель	Разработанный метод с надежной доказательной базой
2. Метрологические службы	Повышение точности результатов измерений
3. НИИ, НПФ	Применение метода в научных проектах
4. Заводы, государственные предприятия	Внедрение метода в целях повышения качества выпускаемой продукции
5. Коммерческие организации в сфере бизнеса, экономики, банковских операций	Применение метода в целях нахождения наилучшего решения

В таблице 18 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В разделе «Организационная структура проекта» необходимо определиться с составом рабочей группы, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Состав рабочей группы проекта приведен в таблице 19.

Таблица 18 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	<ul style="list-style-type: none"> – разработать метод IF&PA; – составить доказательную базу, на основе которой создан метод; – провести сравнительный анализ аналогичных методов; – выявление преимуществ и недостатков метода;
Ожидаемые результаты проекта:	<ul style="list-style-type: none"> – внедрить метод в различные сферы деятельности; – публикация метода в научном журнале; – автоматизация метода.
Критерии приемки результата проекта:	<ul style="list-style-type: none"> – составленная доказательная база метода; – проект принимается в случае, когда метод IF&PA обеспечивает наилучшую оценку (результат) по сравнению с существующими методами.
Требования к результату проекта:	Требование:
	– максимально возможная точность метода;
	– независимость от закона распределения оцениваемой величины;
	– широкая область применения;
	– быстрота определения оптимального решения разработанным методом.

Таблица 19 – Состав рабочей группы проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Муравьев С.В.	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность исполнителя.	См. п.4.5.2
2	Тютрина А.А.	Исполнитель по проекту	Выполняет отдельные работы по проекту.	См. п.4.5.2

В разделе «Ограничения и допущения проекта» определяются все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Ограничения проекта представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения / допущения
3.1. Бюджет проекта	см. п.4.5
3.1.1. Источник финансирования	собственные средства
3.2. Сроки проекта:	05.10.2018 – 11.06.2019
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	05.10.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	03.06.2019
3.3. Время работы руководителя	не более 2 ч в неделю
3.4. Алгоритм метода	метод основан на сравнении величин
3.5. Вид измерений	метод применим к прямым и косвенным измерениям

4.5 Планирование процесса управления научно-технического исследования: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок

Планирование процесса управление научно-технического исследования (НТИ) тесно связано с инициацией проекта. Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

1. Иерархическую структуру работ проекта
2. Контрольные события проекта
3. План проекта
4. Бюджет научного исследования
5. Организационная структура проекта
6. Матрица ответственности

7. План управления коммуникациями коммуникациями проекта
8. Реестр рисков проекта
9. План управления контрактами и поставками.

В следующих подразделах каждый элемент будет рассмотрен более подробно.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

В рамках контрольных событий проекта необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Элемент «План проекта» включает в себя календарный и сетевой графики проекта.

4.5.1 План проекта

Для того чтобы провести планирование исследования, нужно оценить процессы определения общего содержания работ, участников исследования, разработки последовательности действий и установление продолжительности работ, а также построение графика проведения исследований.





















Разделим выполнение выпускной квалификационной работы на этапы, в каждом из которых распределим исполнителей. Результаты представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Составление и утверждение задания ВКР	Руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Подбор материалов по теме	Руководитель, студент
	3	Изучение материалов по теме	Студент
	4	Выбор методов анализа данных	Руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретические исследования	6	Проведение анализа данных	Студент
	7	Проверка результатов	Руководитель, студент
	8	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Интерпретация результатов	Руководитель, студент
	10	Оценка эффективности разработанной методики	Руководитель, студент
Проведение ОКР			
Оформление пояснительной записки и сдача ВКР	11	Обоснование безопасности проводимых исследований и финансовой эффективности	Студент
	12	Оформление пояснительной записки	Руководитель, студент
	13	Сдача готовой магистерской диссертации	Студент

Календарный план-график проведения НТИ на основе этапов работ приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НТИ

Номер работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль			Март			Апрель			Май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Руководитель	2												
2	Руководитель, студент	9	 											
3	Студент	15												
4	Руководитель, студент	7			 									
5	Руководитель, студент	1				 								
6	Студент	21												
7	Студент	5												
8	Студент	3												
9	Руководитель, студент	2							 					
10	Руководитель, студент	1							 					
11	Студент	9												
12	Руководитель, студент	21								 				
13	Руководитель, студент	20										 		

Примечание:

 - руководитель;

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НТИ

Номер работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль			Март			Апрель			Май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

■ - исполнитель (студент).

4.5.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Определение расходов на выполнение НТИ производится путем составления калькуляции по отдельным пунктам затрат всех видов необходимых ресурсов.

Калькуляция плановой себестоимости проведения исследования составляется по следующим статьям затрат:

- затраты на оплату труда исполнителей
- материальные затраты;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

При проведении НТИ большая часть затрат обычно приходится на оплату труда, поэтому следует определить трудоемкость работ каждого исполнителя.

Трудоемкость выполнения НТИ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используют следующую формулу

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5}, \quad (42)$$

где $t_{\min\ i}$ – минимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

$t_{ожі}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i - ой работы.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работы, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p по формуле, учитывающей параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (43)$$

где T_{pi} – продолжительность одной i -ой работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, одновременно выполняющих одну и ту же работу на определенном этапе, чел.

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по распределены по этапам с указанием протяженности во времени отрезков, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика следует перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные. Для этого можно использовать следующую формулу

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (44)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (45)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Используя производственный календарь за 2019 год при шестидневной рабочей неделе, получаем следующие входные данные: 66 выходных дней (с учетом праздников). В результате получается, что коэффициент календарности $k_{\text{кал}} = 1,22$.

Рассчитаем все необходимые значения и сведем в таблицу 23, где Р – руководитель, С – студент.

Таблица 23 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб. Дн.	Длительность работ в календарных днях T_{ki} , кал. Дн.
	T_{min} , чел.-дн.	T_{max} , чел.-дн.	$T_{\text{ож}}$, чел.-дн.			
1	1,0	3,0	1,8	Р	1,8	2,2
2	10,0	20,0	14,0	С	7,0	8,5
	10,0	20,0	14,0	Р	7,0	8,5
3	20,0	30,0	24,0	С	24,0	29,3
4	10,0	12,0	10,8	С	5,4	6,6
	10,0	12,0	10,8	Р	5,4	6,6
5	1,0	2,0	1,4	С	0,7	0,9
	1,0	2,0	1,4	Р	0,7	0,9
6	15,0	20,0	17,0	С	17,0	20,7
7	3,0	5,0	3,8	С	3,8	4,6
8	2,0	4,0	2,8	С	2,8	3,4
9	2,0	3,0	2,4	С	1,2	1,5
	2,0	3,0	2,4	Р	1,2	1,5
10	1,0	3,0	1,8	С	0,9	1,1
	1,0	3,0	1,8	Р	0,9	1,1
11	6,0	9,0	7,2	С	7,2	8,8
12	21,0	24,0	22,2	С	22,2	27,1
	11,0	14,0	12,2	Р	12,2	14,9

Таблица 23 – Временные показатели проведения научного исследования

	20,0	23,0	21,2	С	21,2	25,9
13	10,0	12,0	10,8	Р	10,8	13,2
Итого:					153,4	187,3

Таким образом, общая длительность работ в рабочих днях составляет 154 дня, длительность работ в календарных днях – 188 дней.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования для практической части НТИ рассчитываются по формуле

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot C_{э} \cdot t_{об}, \quad (46)$$

где $\mathcal{E}_{об}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{э}$ – тарифная цена за 1 кВт·ч, $C_{э} = 3,93$ руб/кВт·ч;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется из расчета, что продолжительность рабочего считается равной восьми часам.

Материальные затраты приравнены в таблице 24.

Таблица 24 – Материальные затраты на проведение НТИ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Бумага для принтера	шт	300	2	600
Электроэнергия	кВт·ч	370	3,93	1454
Транспортные расходы	руб	30	21	630
Итого:				2684

Таким образом, материальные затраты на проведение НТИ составили 2684 рублей.

Проведем расчеты расходов, связанных с заработной платой каждого из участников НТИ. Расчет проводится по формуле

$$Z_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (47)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (от 12 до 20 % от основной заработной платы).

Основная зарплата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (48)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (49)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

Таблица 25 – Годовой фонд рабочего времени на 2019 год для 6-ти дневной рабочей недели

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный оклад работника рассчитывается по формуле

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (50)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – размер оклада (тарифная ставка), руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, примем равным 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, примем равным 0,3.

Основная заработная плата руководителя и студента (из НИ ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в НИ ТПУ предполагает размер окладной части, доступный по ссылке: <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents>.

Оклад руководителя (профессор, доктор наук) – 36 800 рублей.

Оклад студента (ассистент, без степени) – 17 000 рублей.

Таким образом, рассчитываем заработную плату и вносим данные в таблицу 26.

Таблица 26 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$З_{м}$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	36 800	65 504	2 758	40	110 000
Студент	17 000	30260	716	114	81 624

Дополнительная заработная плата учитывает величину доплат за отклонения от нормальных условий труда, предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий. Расчет осуществляется по формуле

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (51)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата руководителя составляет 16 500 рублей. Дополнительная заработная плата студента составляет 12 244 рублей.

Теперь рассчитаем отчисления во внебюджетные фонды.

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), Пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (федеральным (ФФОМС) и

территориальным (ТФОМС)) от затрат на оплату труда работников, объединенные в форме единого социального платежа.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы

$$З_{отч} = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot k_{внеб}, \quad (52)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент, учитывающий социальные выплаты организации.

В 2019 году $k_{внеб} = 0,3$.

Отчисления руководителя составляют 37 950 рублей.

Отчисления студента составляют 28 161 рублей.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Рассчитываются по формуле

$$З_{накл} = (З_{осн} + З_{доп} + З_{отч}) \cdot k_{нр}, \quad (53)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Примем коэффициент накладных расходов равным 16 %.

Таким образом, размер накладных расходов составил $З_{накл} = 26\,312$ рублей для научного руководителя, $З_{накл} = 19\,525$ рублей для исполнителя.

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Расчет бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ) представлен в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат научно-технического исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	5 368
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	191 624
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	28 744
Отчисления во внебюджетные фонды	66 111
Накладные расходы	45 837

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат научно-технического исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
Бюджет затрат НТИ	337 684

5 Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению.

Данная работа основана на проведении технических измерений переменного напряжения при действительных значениях 1, 5, 7 В с помощью задающего источника напряжения – генератора Актаком AWG-4110, лабораторного макета № 5, соединительных проводов и средств измерений – вольтметры В7-38М (5 шт.).

Область применения данного проекта обширна. Так, разработанный метод IF&PA может применяться в таких областях как

- экономические расчеты, банковские операции;
- голосование (политика);
- серийное производство / заводы / фабрики;
- метрологическое обеспечение;
- поверка / калибровка / межлабораторные сличения;

– в иных сферах, где необходимо найти одно наиболее оптимальное решение из множества полученных в ходе проверки / анализа / измерений.

Географическим местом выполнения работ по проекту является г. Томск, Ленина проспект, 2 (НИ ТПУ, корпус № 10), ауд. 206, лабораторный стол.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Обеспечение безопасности человека является одной из главнейших задач общества. Для этого в Российской Федерации (РФ) разработана и постоянно совершенствуется система правовых норм, законодательными основами которых является Конституция РФ, Федеральный Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и ряд других нормативных документов.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Специальные нормы трудового права содержат дополнительные гарантии для работников. Основная часть специальных правовых норм установлена в разделе XII ТК РФ [24].

В таблице 28 приведены характеристики специальных правовых норм и устанавливаемые к ним требования, применительно к данному проекту.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов.

Согласно [25] конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног.

Таблица 28 – Характеристики специальных правовых норм и устанавливаемые к ним требования

Наименование специальной правовой нормы	Устанавливаемые требования	Раздел Трудового Кодекса
1. Особенности труда женщин	Запрещается применение труда женщин на работах, связанных с подъемом и перемещением вручную тяжестей, превышающих предельно допустимые для них нормы.	ст.253
2. Особенности регулирования труда научных работников	2.1. Трудовые договоры на замещение должностей научных работников могут заключаться как на неопределенный срок, так и на срок, определенный сторонами трудовых договоров. 2.2. При избрании работника по конкурсу на замещение ранее занимаемой им по срочному трудовому договору должности научного работника новый трудовой договор может не заключаться. В этом случае действие срочного трудового договора с работником продлевается по соглашению сторон. 2.3. Проводится аттестация в сроки, определяемые локальным нормативным актом, но не чаще одного раза в два года и не реже одного раза в пять лет.	ст.336.1
3. Заработная плата	3.1. Месячная заработная плата работника, полностью отработавшего за этот период норму рабочего времени и выполнившего нормы труда (трудовые обязанности), не может быть ниже минимального размера оплаты труда (11 280 рублей на 01.01.2019). 3.2. Заработная плата выплачивается не реже чем каждые полмесяца. Конкретная дата выплаты заработной платы устанавливается правилами внутреннего трудового распорядка. 3.3. Оплата отпуска производится не позднее чем за три дня до его начала. 3.4. Сверхурочная работа оплачивается за первые два часа работы не менее чем в полуторном размере, за последующие часы – не менее чем в двойном размере.	ст.133, ст. 136, ст.152
4. Режим рабочего	4.1. Режим рабочего времени должен предусматривать:	ст.100

Таблица 28 – Характеристики специальных правовых норм и устанавливаемые к ним требования

времени	<ul style="list-style-type: none"> – продолжительность рабочей недели; – продолжительность ежедневной работы; – время начала и окончания работы, время перерывов в работе; – чередование рабочих и нерабочих дней. 	
5. Обработка персональных данных	<p>5.1. При определении объема и содержания обрабатываемых персональных данных работника работодатель должен руководствоваться Конституцией Российской Федерации, настоящим Кодексом и иными федеральными законами.</p> <p>5.2. Все персональные данные работника следует получать у него самого.</p> <p>5.3. При принятии решений, затрагивающих интересы работника, работодатель не имеет права основываться на персональных данных работника, полученных исключительно в результате их автоматизированной обработки или электронного получения.</p>	ст.86

В таблице 29 приведены числовые значения нормируемых параметров и действительных параметров рабочего места.

Таблица 29 – Числовые значения нормируемых и действительных параметров рабочего места

	Высота рабочей поверхности, мм	Высота рабочего сиденья, мм	Расстояние от сиденья до нижнего края рабочей поверхности, мм
Нормируемые характеристики	780	400	не менее 150
Действительные характеристики	750	430	170
Отклонение от нормы	30	30	в пределах нормы

При взаимном расположении элементов рабочего места (стул, стол, рабочая тетрадь, нормативная документация, канцелярские принадлежности, калькулятор) необходимо учитывать возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором [26].

Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, как показано на рисунке 17.

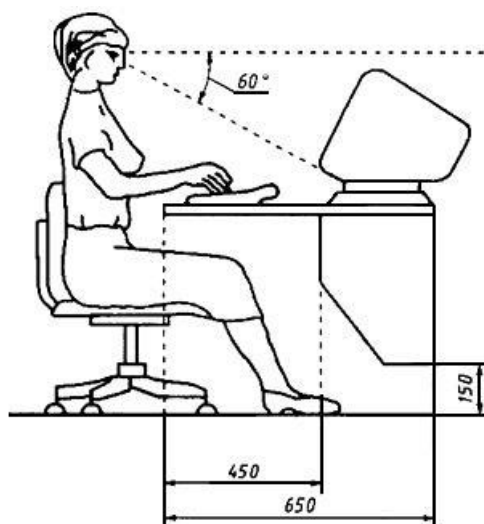


Рисунок 17 – Расположение дисплея на столе

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии от 100 до 300 мм [27].

Уровень шума на рабочем месте оператора при работающем печатающем оборудовании не должен превышать значений, указанных в таблице 30.

Таблица 30 – Требования к шуму на рабочем месте при печатающем оборудовании

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	50
103	91	83	77	73	70	68	66	64	

5.2 Профессиональная социальная безопасность

К числу опасных и вредных производственных факторов, которые может создать объект исследования, относятся факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории.

В таблице 31 приведены опасные вредные и производственные факторы с указанием нормативных документов, регламентирующих данные факторы.

5.2.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электрооборудования, не должны превышать значений, указанных в таблице 32.

Таблица 31 – Опасные вредные и производственные факторы, которые могут возникать при проведении исследований

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Исследо вание	Обработ ка	
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+		ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление [28]; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [29]; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [30]; СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [31]; Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [32];
2. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	

Таблица 31 – Опасные вредные и производственные факторы, которые могут возникать при проведении исследований

3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.0.005-2014 ССБТ. Метрологическое обеспечение в области безопасности труда [33].
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [34]; СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [35].
5. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	+	+	+	Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [32].
6. Динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений	+	+	+	
7. Сенсорные нагрузки	+	+	+	
8. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса	+	+	+	Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [9].
9. Монотонность труда	+	+	+	Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [9].
10. Длительность сосредоточенного наблюдения	+	+	+	
11. Одновременное наблюдение за объектами		+		

Таблица 32 – Значения напряжений и токов, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электрооборудования

Род тока	U , В	I , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ 12.1.019-2017 [30]. В электроустановках напряжением до 1000 В в сети с заземленной должно быть выполнено зануление.

Требования к временным допустимым уровням электромагнитного поля (ЭМП) на рабочих местах, оборудованных ЭВМ, представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых электронной вычислительной машиной на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 Гц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для снижения воздействия электромагнитного излучения применяют следующие меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение экранных защитных фильтров, а также средств индивидуальной защиты.

5.2.2 Отклонение показателей микроклимата

Источником резкого изменения температуры в рабочей зоне является неотапливаемый период помещения, а также резко континентальные климатические условия, а также погодные условия.

В таблице 34 приведен перечень измеряемых параметров окружающей среды при выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда.

Таблица 34 – Измеряемые параметры окружающей среды при выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда

Измеряемый параметр	Диапазон измерений, единица величины	Предельно допускаемая погрешность
Температура воздуха	от – 30 °С до + 50 °С	Д*ж 0,2 °С
Относительная влажность	от 5 % до 90 %	Д в ± 5 %

воздуха		
Барометрическое давление	(600-900) мм.рт.ст. (80-120) кПа	в зависимости от класса точности

В целях минимизации и контроля воздействия такого фактора, как условия окружающей среды, в лабораториях устанавливают различные системы осушения и увлажнения воздуха, а также оснащают лабораторию системой кондиционирования производственных помещений.

5.2.3 Статические / динамические / нагрузки

При проведении измерительных работ оператор нарабатывает стереотипные рабочие движения. Нормированные стереотипные рабочие движения приведены в таблице 33.

Таблица 35 – Нормированные стереотипные рабочие движения

Показатели тяжести трудового процесса	Класс (подкласс) условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	1	2	3,1	3,2
При локальной нагрузке (с участием мышц кистей и пальцев рук)				
	до 20 000	до 40 000	до 60 000	более 60 000
При региональной нагрузке (при работе с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса)				
	до 10 000	до 20 000	до 30 000	более 30 000

В целях обеспечения оптимальных условий труда необходима правильная компоновка и расположение рабочего места, обеспечение свободы трудовых движений и удобной позы сотрудника.

5.2.4 Сенсорные нагрузки

В ходе проведения исследования неотъемлемой частью является процесс постоянного сосредоточенного длительного наблюдения за изменением показаний прибора, что является следствием снижения зрения, напряженности труда, быстрой утомляемости.

В таблице 36 приведены классы условий труда по показателям сенсорных нагрузок.

Таблица 36 – Классы условий труда по показателям сенсорных нагрузок

Показатели тяжести трудового процесса	Класс условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	Напряженность труда легкой степени	Напряженность труда средней степени	Напряженный труд	
	1	2	1 степени	2 степени
1	2	3	4	5
1. Длительность сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	до 25	25-50	51-75	более 75
2. Размер объекта различения (при расстоянии от глаз работающего до объекта различения не более 0,5 м) в мм при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	более 5 мм – 100 %	5-1,1 мм – более 50 %; 1-0,3 мм – до 50 %; менее 0,3 мм – до 25 %	1-0,3 мм – более 50 %; менее 0,3 мм – 26 – 50 %	менее 0,3 мм – более 50 %
3. Наблюдение за экранами видеотерминалов (часов в смену) при буквенно-цифровом типе отображения информации	до 2	до 3	до 4	более 4

Способами снижения сенсорных нагрузок являются средства индивидуальной защиты (компьютерные очки, линзы), периодическая трудовая деятельность с интервалами отдыха, позы, числа движений.

5.2.5 Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса

Опасность монотонности заключается в снижении внимания к процессу производства, быстрой утомляемости и снижении интереса к трудовому процессу, что влияет на безопасность труда в целом.

В таблице 37 приведены классы условий труда по показателям монотонности трудового процесса.

Таблица 37 – Классы условий труда по показателям монотонности трудового процесса

Показатели тяжести трудового процесса	Класс условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	Напряженность труда легкой степени	Напряженность труда средней степени	Напряженный труд	
	1	2	1 степени	2 степени
1	2	3	4	5
1. Число элементов (приемов), необходимых для реализации простого задания или в многократно повторяющихся операциях	более 10	9-6	5-3	менее 3
2. Продолжительность (в сек) выполнения простых заданий или повторяющихся операций	более 100	100-25	24-10	менее 10
3. Время активных действий (в % к продолжительности смены). В остальное время – наблюдение за ходом производственного процесса	20 и более	19-10	9-5	менее 5
4. Монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом техпроцесса в % от времени смены)	менее 75	76-80	81-90	более 90

Способами снижения напряженности труда в условиях зрительного и психоэмоционального перенапряжения и монотонной работы могут стать полная автоматизация производственных процессов.

5.3 Экологическая безопасность

В связи с тем, что основным средством работы является персональный компьютер и средства измерений, серьезной проблемой является электропотребление. Это влечет за собой общий рост объема потребляемой электроэнергии.

В аудитории не ведется никакого производства. К отходам, производимым в помещении, можно отнести сточные воды и бытовой мусор.

Основной вид мусора – это отходы печати, бытовой мусор, в т. ч. люминесцентные лампы [33], неисправное электрооборудование, коробки от техники, использованная бумага. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При работе с объектами исследования, такими как измерительная схема, состоящая из пяти вольтметров типа В7-38М, генератора переменного напряжения (источник сигнала) типа Актаком AWG-4110, макетной платы, могут возникнуть чрезвычайные ситуации техногенного характера: пожары, угрозы взрывов, обрыв проводов, короткое замыкание и др.

Меры безопасности при работе с электрооборудованием предусматривают проведение следующих мероприятий:

- защитное заземление;
- зануление;
- изоляция токоведущих частей;
- применения пониженного напряжения;
- использование изолирующих подставок и резиновых перчаток.

При возникновении чрезвычайной ситуации в ходе проведения измерительных работ и работ с электрооборудованием работник обязан:

- во всех случаях обнаружения обрыва проводов питания, повреждений электрооборудования, появления запаха гари немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю;
- не приступать к работе с неисправным оборудованием до устранения неисправности;

- при обнаружении человека, попавшего под напряжение, немедленно отключить электропитание и освободить его от действия тока, оказать доврачебную помощь и вызвать скорую медицинскую помощь.

На территории лаборатории должен иметься пожарный щит с наличием средств пожаротушения, сигнализаторы с чувствительными элементами, сигнализирующие о возгорании. На территории лаборатории должны быть установлены знаки пожарной безопасности для обозначения места расположения пожарного инвентаря, оборудования, гидрантов, колодцев и т.д., проходов к нему, схема эвакуации, а также для обозначения запретов на действия, нарушающих пожарную безопасность.

Меры по предупреждению пожара:

- электрооборудование взрывозащищенного исполнения;
- напряжение для переносного электроинструмента и освещения не более 42 В;
- систематическая проверка исправности заземления;
- герметизация технологического оборудования.

В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов. Здание корпуса 10, в котором располагаются учебные аудитории, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а также установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

На рисунке 18 представлен план эвакуации при возникновении пожара и других ЧС.

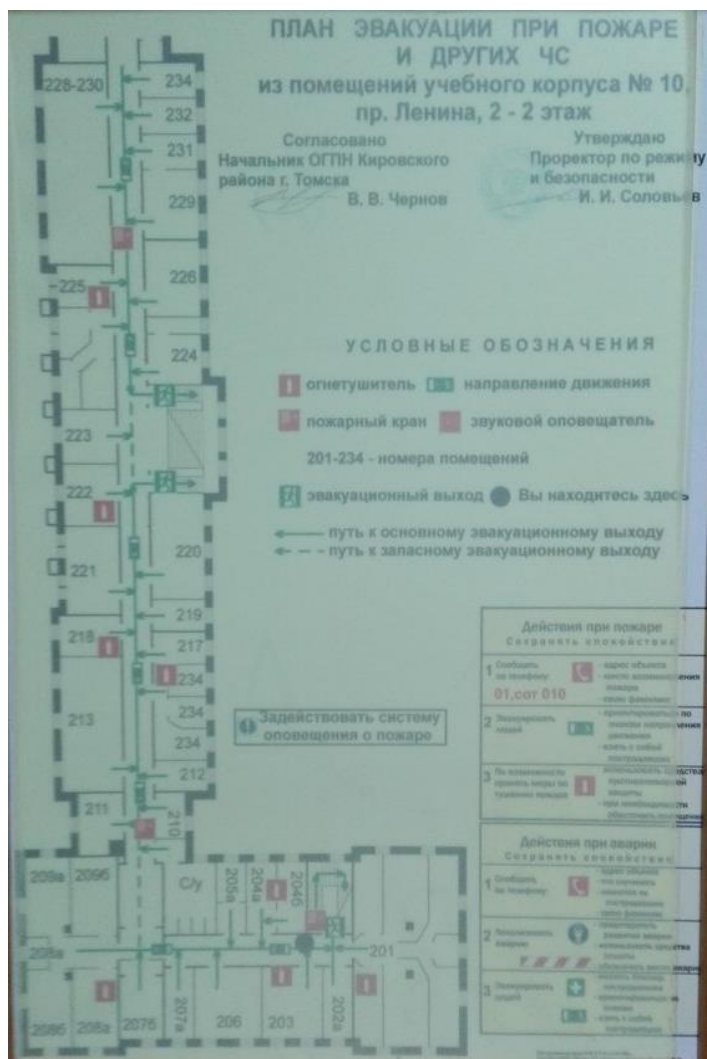


Рисунок 19 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса № 10, пр. Ленина, 2 – 2 этаж,

где

- огнетушитель
- кнопка ручного пожарного извещателя
- электрошокер
- телефон
- основной выход
- основной путь эвакуации

Заключение

1. В процессе исследования был проведен обзор современной литературы и стандартизованных методов в области обработки результатов неравноточных измерений.

2. Проведены измерения напряжения переменного тока с помощью пяти цифровых вольтметров В7-38М в трех точках диапазона на пределе 8 В;
3. Полученные данные были обработаны методами среднего взвешенного и IF&PA с оцениванием точности;
4. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных методами среднего взвешенного и IF&PA.
5. В результате проведенных исследований подтверждена целесообразность применения метода IF&PA для обработки неравноточных измерений.

Список использованных источников

- 1 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. // Росстандарт. – М.: – 2002. – 33 с (дата обращения 20.02.2019).
- 2 РМГ 29-1999 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Минск: Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации. – 2001. – 52 с (дата обращения 15.03.2019).
- 3 РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартинформ. – 2014. – 57 с (дата обращения 11.03.2019)
- 4 John R. Taylor. An introduction to error analysis. – 2nd ed. // Sausalito, CA.: University Science Book. – 1997. – 349 p (дата обращения 05.03.2019)
- 5 Хьюбер П. Робастность в статистике. — М.: Мир. – 1984. – 304 с (дата обращения 20.03.2019)
- 6 P.E. Eliasberg, Measurement Information. Now Much It Do We Need? How Should We Process It? Librokom, Moscow, 2011 (in Russian) (дата обращения 23.03.2019).
- 7 S.G. Rabinovich, Evaluating Measurement Accuracy: A Practical Approach, Springer Science & Business Media, New York, 2013 (дата обращения 23.03.2019).
- 8 JCGM 100:2008, Guide to the expression of uncertainty in measurement, BIPM (дата обращения 25.03.2019).
- 9 V.V. Lyachnev, T.N. Siraya, L.I. Dovbeta, Fundamentals of Metrology, Elmor, Saint-Petersburg, 2007 (in Russian) (дата обращения 27.03.2019).
- 10 W.Q. Meeker, G.J. Hahn, L.A. Escobar, Statistical Intervals: A Guide for Practitioners and Researchers, John Wiley & Sons, New York, 2017 (дата обращения 03.04.2019).

11 M.G. Cox, The evaluation of key comparison data, *Metrologia* 39 (2002) 589–595 (дата обращения 06.04.2019).

12 C. Elster, B. Toman, Analysis of key comparison data: critical assessment of elements of current practice with suggested improvements, *Metrologia* 50 (2013) 549–555 (дата обращения 07.04.2019).

13 J. Wiora, A. Kozyra, A. Wiora, A weighted method for reducing measurement uncertainty below that which results from maximum permissible error, *Meas. Sci. Technol.* 27 (2016) 035007 (дата обращения 13.04.2019).

14 ISO 13528:2015. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons, ISO (дата обращения 16.04.2019).

15 ISO 5725-2:1994/Cor 1:2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, ISO (дата обращения 16.04.2019).

16 F. James, *Statistical Methods in Experimental Physics*, World Scientific, Singapore, 2006 (дата обращения 30.03.2019).

17 M. Hollander, D.A. Wolfe, E. Chicken, *Nonparametric Statistical Methods*, John Wiley & Sons, New York, 2014 (дата обращения 18.02.2019).

18 ISO 5725-2:1994/Cor 1:2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, ISO (дата обращения 22.02.2019).

19 S.V. Muravyov, Ordinal measurement, preference aggregation and interlaboratory comparisons, *Measurement* 46 (2013) 2927–2935 (дата обращения 14.01.2019).

20 M. Hollander, D.A. Wolfe, E. Chicken, *Nonparametric Statistical Methods*, John Wiley & Sons, New York, 2014 (дата обращения 12.04.2019).

21 Мартиросян А. С., Баранников М. М. Выбор методики оценки инновационного потенциала предприятия как условие для эффективного

управления инновациями // Молодой ученый. — 2016. — №20. — С. 361-364. — URL: <https://moluch.ru/archive/124/34245/> (дата обращения: 03.05.2019).

22 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с. (дата обращения: 06.05.2019)

23 Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с. (дата обращения: 07.05.2019).

24 Трудовой кодекс Российской Федерации № 197-ФЗ от 30.12.2001 (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. – 2001 (дата обращения 16.05.2019).

25 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата обращения 15.05.2019).

26 ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования (дата обращения 15.05.2019).

27 ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения (дата обращения 16.05.2019).

28 ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Защитное заземление, зануление» (дата обращения 17.05.2019).

29 ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» (дата обращения 17.05.2019).

30 ГОСТ 12.1.019-2017 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» (дата обращения 17.05.2019).

31 СанПиН 2.2.4.3359-2016 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» (дата обращения 19.05.2019).

32 Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» (дата обращения 19.05.2019).33 ГОСТ 12.0.005-2014 «ССБТ.

Метрологическое обеспечение в области безопасности труда» (дата обращения 19.05.2019).

Приложение А

(обязательное)

Нахождение наилучшей оценки методом IF&PA

10 разбиений	
мин	0,9759
макс	1,0061
h	0,0034
a1	0,9759
a2	0,9793
a3	0,9826
a4	0,9860
a5	0,9894
a6	0,9927
a7	0,9961
a8	0,9994
a9	1,0028
a10	1,0061



**Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$**



**Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$**



$\lambda_1: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \succ a_1 \sim a_{10}$

$\lambda_2: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \succ a_1 \sim a_{10}$

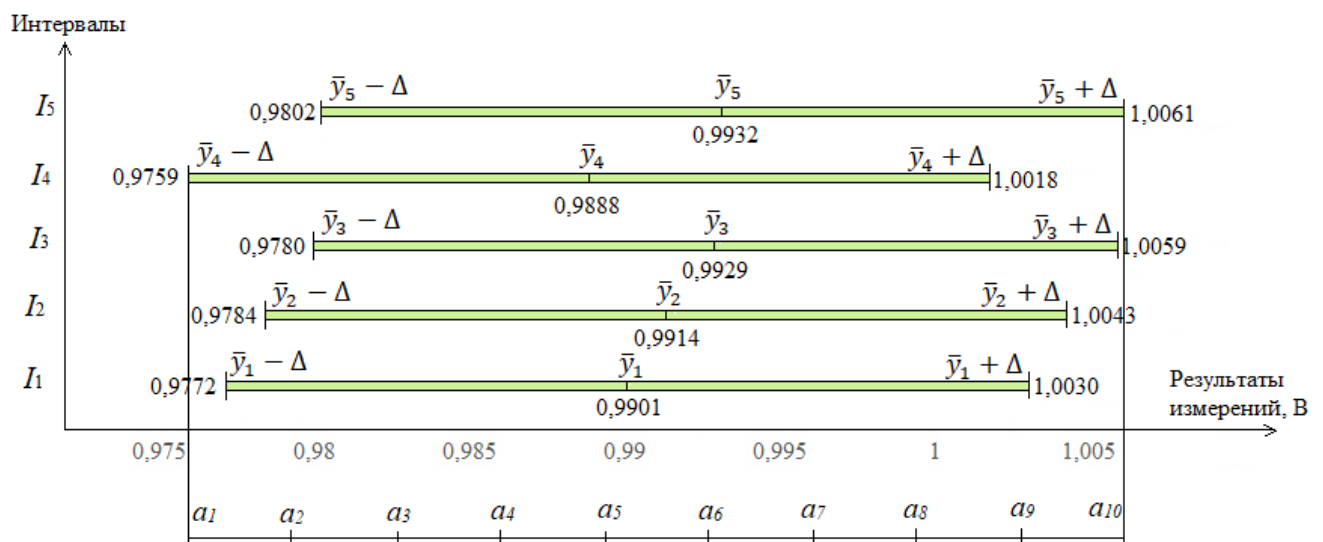
$\lambda_3: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_{10}$

$\lambda_4: a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \succ a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_5: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10} \succ a_1 \sim a_2$



**Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A**



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$a_4 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \succ a_2 \sim a_3 \sim a_1 \sim a_5 \sim a_{10}$

Наилучшая оценка $x^* = a_7$:

$(0,996 \pm 0,011) \text{ В}$

Рисунок А.1 – Интервалы погрешности для номинала 1 В (10 разбиений)

7 разбиений	
мин	0,9759
макс	1,0061
h	0,0050
a1	0,9759
a2	0,9810
a3	0,9860
a4	0,9910
a5	0,9961
a6	1,0011
a7	1,0061



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_7$

$\lambda_2: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_7$

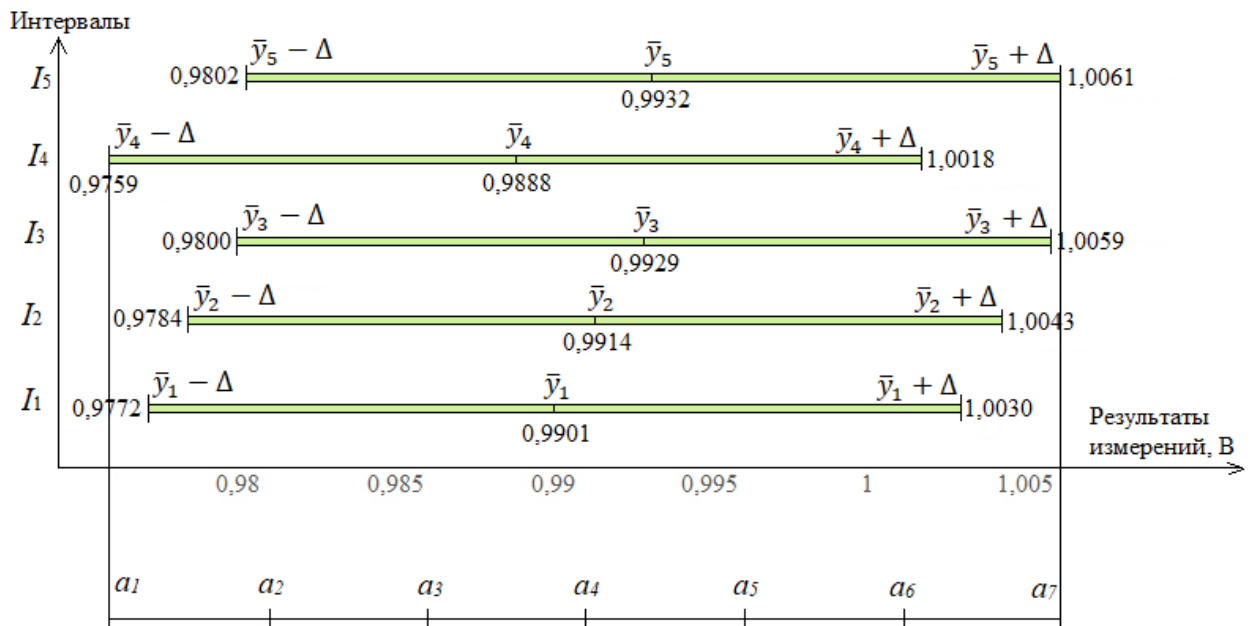
$\lambda_3: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_7$

$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_7$

$\lambda_5: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7 > \alpha_1$



Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$\alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_7$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_4$:

$(0,991 \pm 0,011) \text{ В}$

Рисунок А.2 – Интервалы погрешности для номинала 1 В (7 разбиений)

5 разбиений	
мин	0,9759
макс	1,0061
h	0,0076
a1	0,9759
a2	0,9835
a3	0,9910
a4	0,9986
a5	1,0061



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$$\lambda_1: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

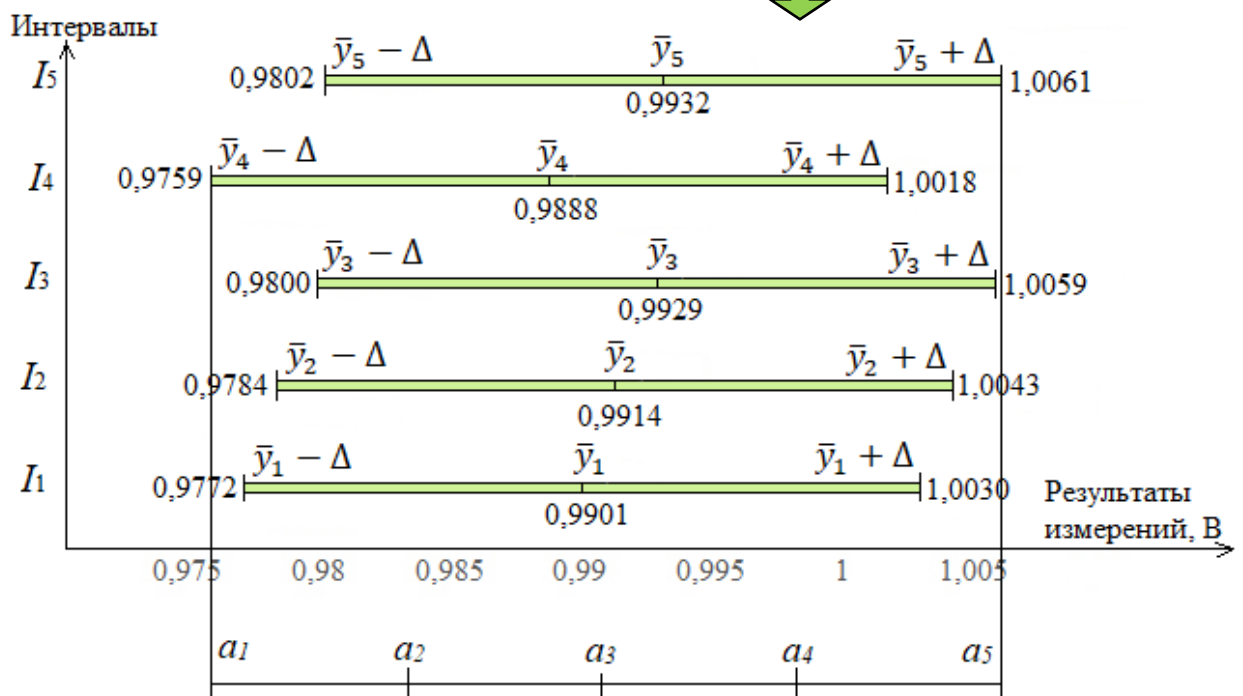
$$\lambda_2: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_3: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_5$$

$$\lambda_5: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_1$$

Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_3$:

$$(0,991 \pm 0,011) \text{ В}$$

Рисунок А.3 - Интервалы погрешности для номинала 1 В (5 разбиений)

10 разбиений	
мин	4,9029
макс	5,0188
h	0,0129
a1	4,9029
a2	4,9157
a3	4,9286
a4	4,9415
a5	4,9544
a6	4,9673
a7	4,9801
a8	4,9930
a9	5,0059
a10	5,0188



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \succ a_1 \sim a_9 \sim a_{10}$

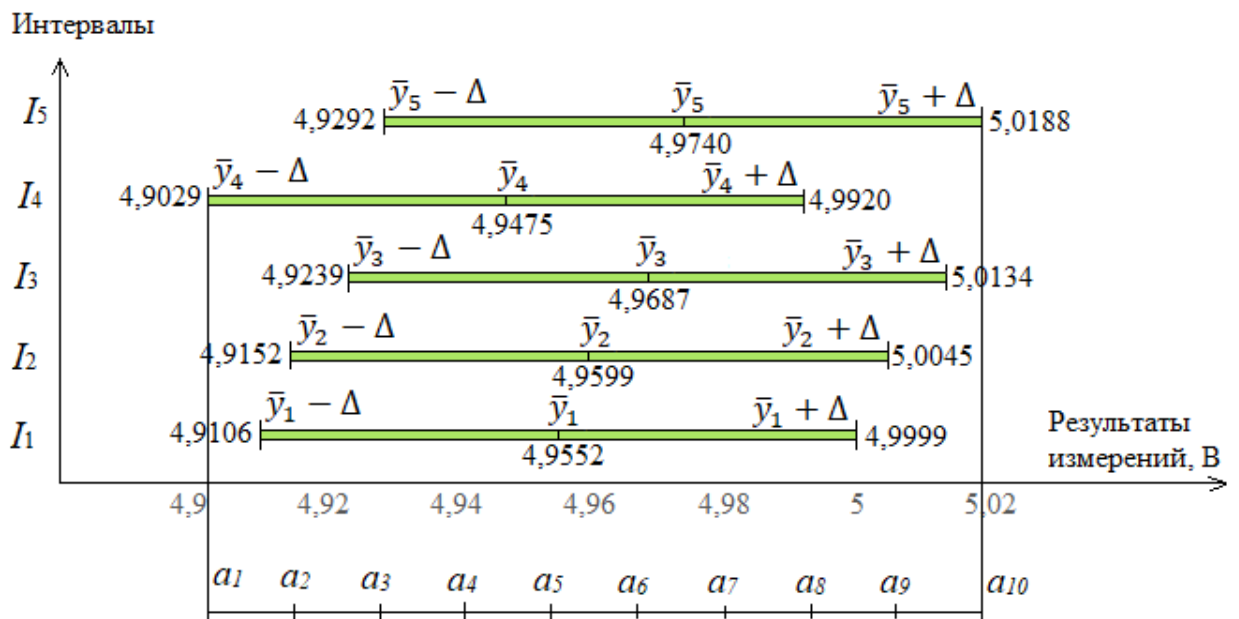
$\lambda_2: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \succ a_1 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_3: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_{10}$

$\lambda_4: a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \succ a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_5: a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10} \succ a_1 \sim a_2 \sim a_3$

Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7 \sim \alpha_8 \succ \alpha_3 \sim \alpha_2 \sim \alpha_9 \succ \alpha_1 \sim \alpha_{10}$$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_6$:

$$(4,97 \pm 0,03) \text{ В}$$

Рисунок А.4 – Интервалы погрешности для номинала 5 В (10 разбиений)

интервалами погрешности для номинала 5 В (7 разбиений)

7 разбиений	
мин	4,9029
макс	5,0188
h	0,0193
a1	4,9029
a2	4,9222
a3	4,9415
a4	4,9608
a5	4,9801
a6	4,9995
a7	5,0188



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \succ a_1 \sim a_7$

$\lambda_2: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \succ a_1 \sim a_7$

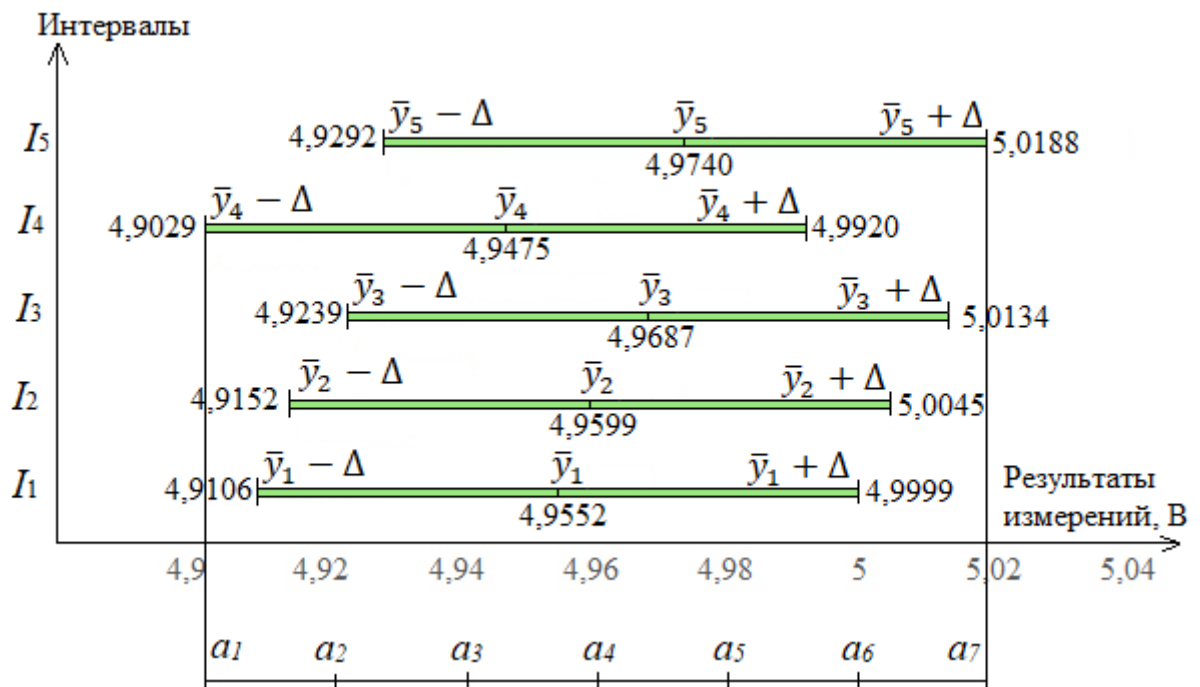
$\lambda_3: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_7$

$\lambda_4: a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \succ a_6 \sim a_7$

$\lambda_5: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \succ a_1 \sim a_2$



Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$\alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \succ \alpha_6 \succ \alpha_2 \succ \alpha_1 \sim \alpha_7$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_4$:

$(4,96 \pm 0,03)$ В

Рисунок А.5 – Интервалы погрешности для номинала 5 В (7 разбиений)

5 разбиений	
мин	4,9029
макс	5,0188
h	0,0290
a1	4,9029
a2	4,9318
a3	4,9608
a4	4,9898
a5	5,0188



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$$\lambda_1: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

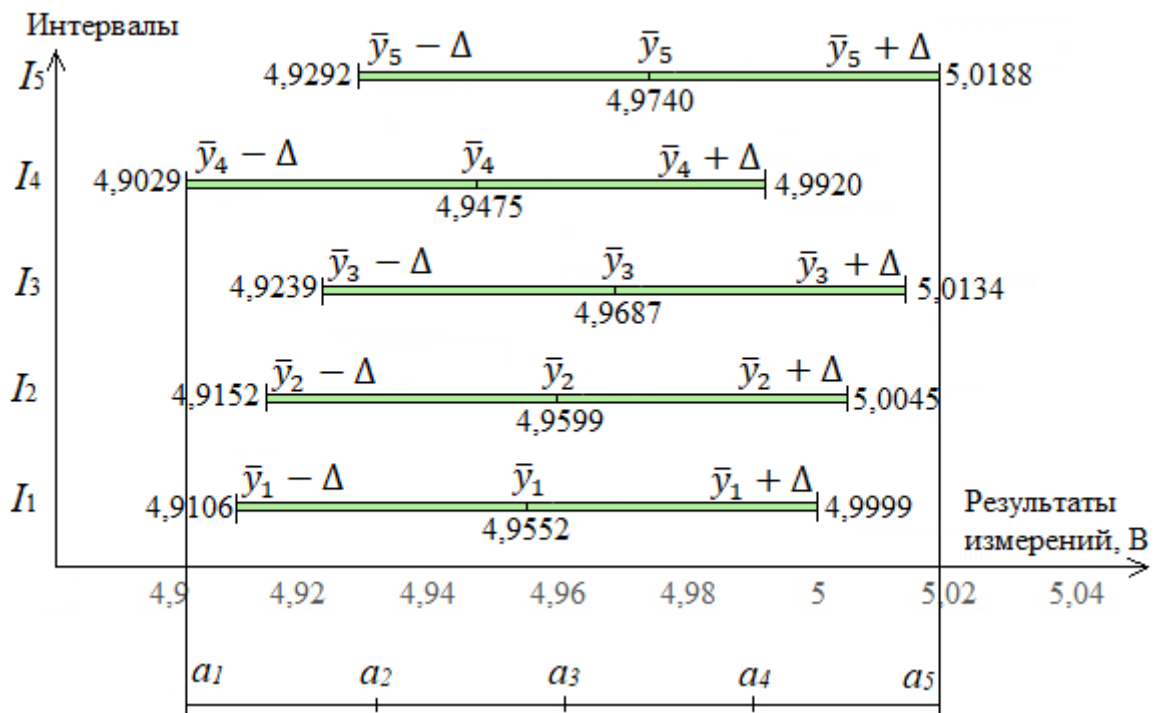
$$\lambda_2: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_3: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_5$$

$$\lambda_5: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_1$$

Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_2: (4,93 \pm 0,03) \text{ В}$

Рисунок А.6 – Интервалы погрешности для номинала 5 В (5 разбиений)

10 разбиений	
мин	6,8561
макс	7,0166
h	0,0178
a1	6,8561
a2	6,8739
a3	6,8918
a4	6,9096
a5	6,9274
a6	6,9453
a7	6,9631
a8	6,9809
a9	6,9988
a10	7,0166



Этап 1. Формирование диапазона актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \succ a_1 \sim a_9 \sim a_{10}$

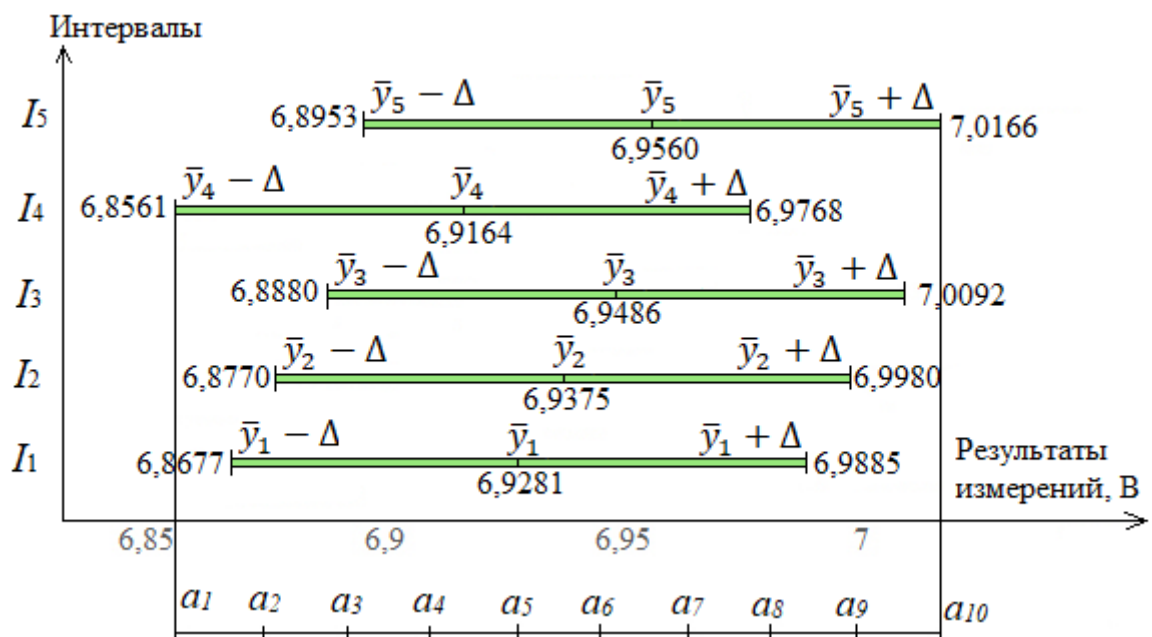
$\lambda_2: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_3: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \succ a_8 \sim a_9 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_{10}$

$\lambda_4: a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \succ a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_5: a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10} \succ a_1 \sim a_2 \sim a_3$

Этап 3. Представление диапазона актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \succ a_3 \sim a_8 \succ a_2 \sim a_9 \succ a_1 \sim a_{10}$$

$$\text{Наилучшая оценка } x^* = (a_5/a_6)/2: (6,94 \pm 0,04) \text{ В}$$

Рисунок А.7 – Интервалы погрешности для номинала 7 В (10 разбиений)

7 разбиений	
мин	6,8561
макс	7,0166
h	0,0268
a1	6,8561
a2	6,8829
a3	6,9096
a4	6,9364
a5	6,9631
a6	6,9899
a7	7,0166



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$$\lambda_1: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_1 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$$

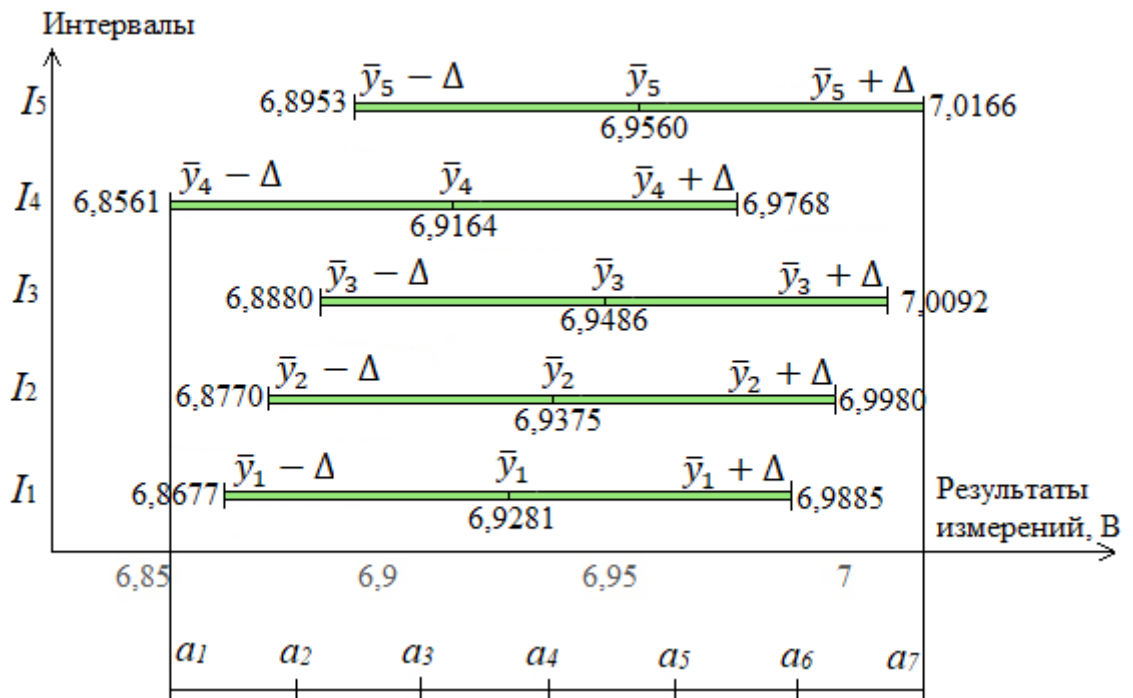
$$\lambda_2: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_7$$

$$\lambda_3: \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_7$$

$$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_6 \sim \alpha_7$$

$$\lambda_5: \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7 > \alpha_1 \sim \alpha_2$$

Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_3 > \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_2 > \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_7$$

$$\text{Наилучшая оценка } x^* = \alpha_4: (6,94 \pm 0,04) \text{ В}$$

Рисунок А.8 – Интервалы погрешности для номинала 7 В (7 разбиений)

5 разбиений	
мин	6,8561
макс	7,0166
h	0,0401
a1	6,8561
a2	6,8962
a3	6,9364
a4	6,9765
a5	7,0166



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$$\lambda_1: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

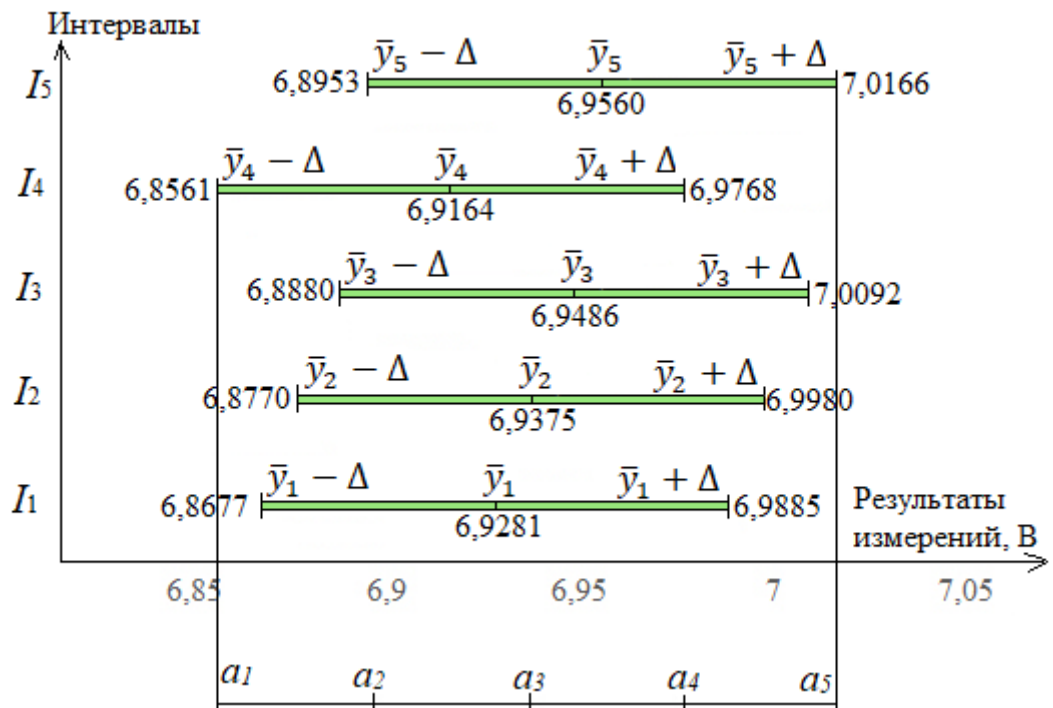
$$\lambda_2: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_3: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_5$$

$$\lambda_5: \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_1$$

Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_5$$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_3: (6,94 \pm 0,04) \text{ В}$

Рисунок А.9 – Интервалы погрешности для номинала 7 В (5 разбиений)

10 разбиений	
мин	0,9870
макс	0,9937
h	0,0007
a1	0,9870
a2	0,9878
a3	0,9885
a4	0,9893
a5	0,9900
a6	0,9908
a7	0,9915
a8	0,9922
a9	0,9930
a10	0,9937



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 > a_{10}$

$\lambda_2: a_7 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

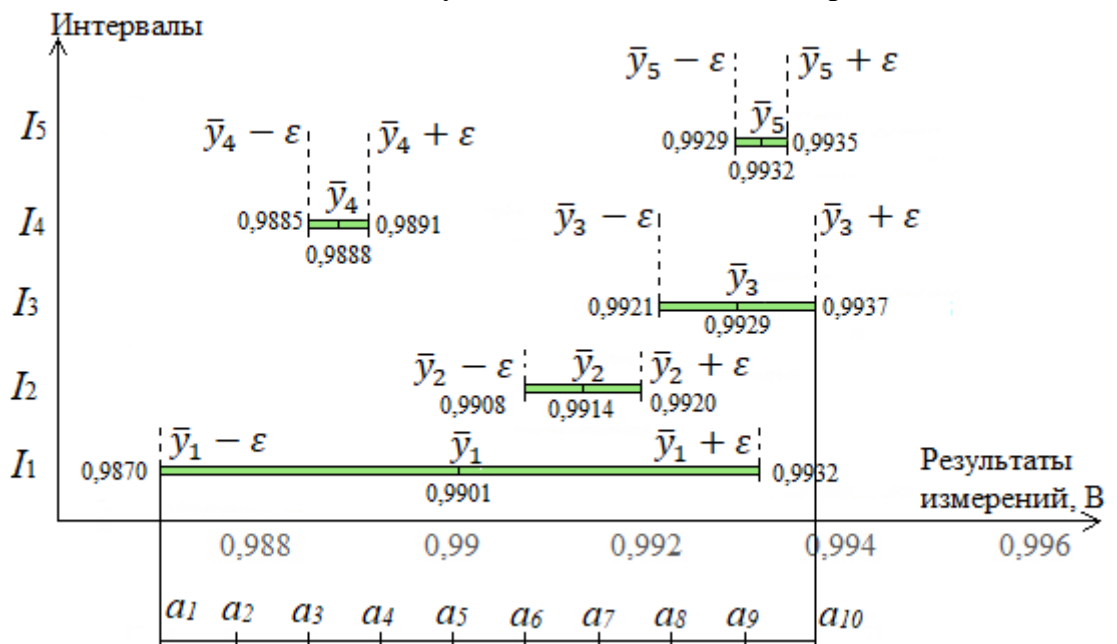
$\lambda_3: a_8 \sim a_9 \sim a_{10} > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7$

$\lambda_4: a_3 > a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_5: a_9 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_{10}$



Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$a_9 > a_7 \sim a_8 \sim a_3 > a_5 \sim a_6 \sim a_2 \sim a_1 \sim a_4 \sim a_{10}$

Наилучшая оценка $x^* = a_9$:

$(0,9930 \pm 0,0019) \text{ В}$

Рисунок А.10 – Интервалы неопределенности для номинала 1 В (10
разбиений)

10 разбиений	
мин	4,9438
макс	4,9779
h	0,0038
a1	4,9438
a2	4,9476
a3	4,9514
a4	4,9551
a5	4,9589
a6	4,9627
a7	4,9665
a8	4,9703
a9	4,9741
a10	4,9779



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: a_4 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_2: a_5 \sim a_6 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

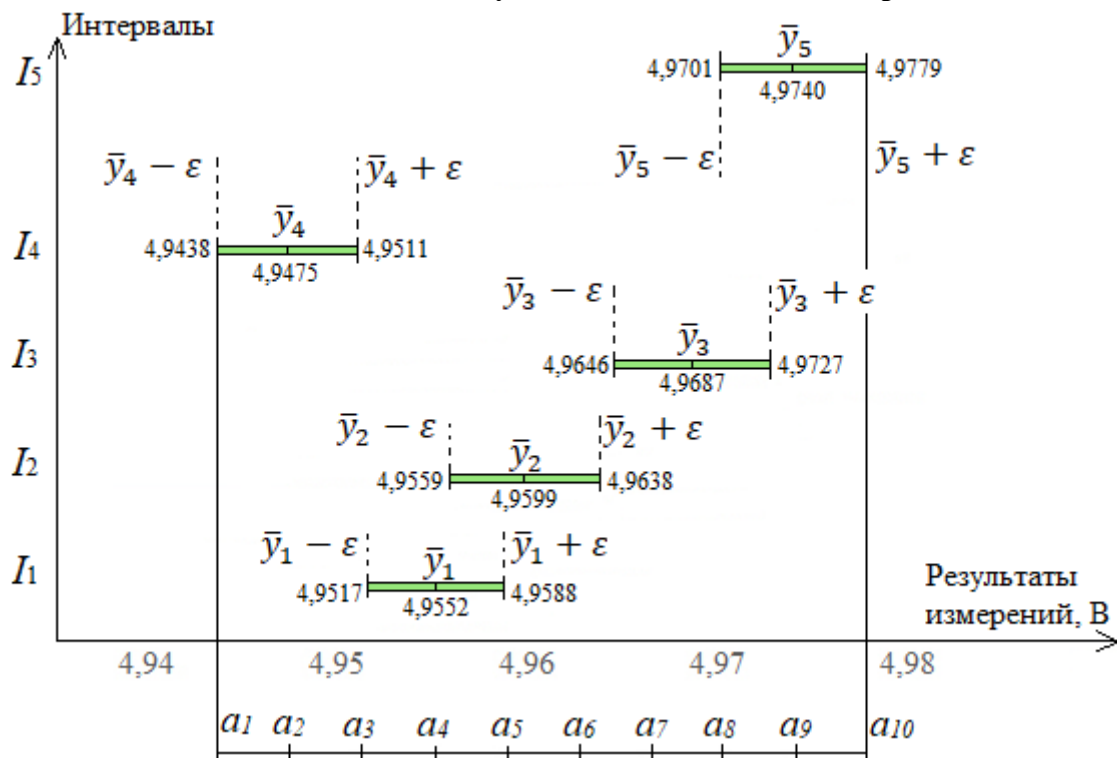
$\lambda_3: a_7 \sim a_8 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_4: a_1 \sim a_2 > a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_5: a_8 \sim a_9 \sim a_{10} > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7$



Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$\alpha_8 > \alpha_2 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7 \sim \alpha_1 \sim \alpha_9 \sim \alpha_{10} \sim \alpha_3$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_8: (4,97 \pm 0,01) \text{ В}$

Рисунок А.11 – Интервалы неопределенности для номинала 5 В (10 разбиений)

7 разбиений	
мин	4,9438
макс	4,9779
h	0,0057
a1	4,9438
a2	4,9495
a3	4,9551
a4	4,9608
a5	4,9665
a6	4,9722
a7	4,9779



Этап 1. Формирование диапазона актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: \alpha_3 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$

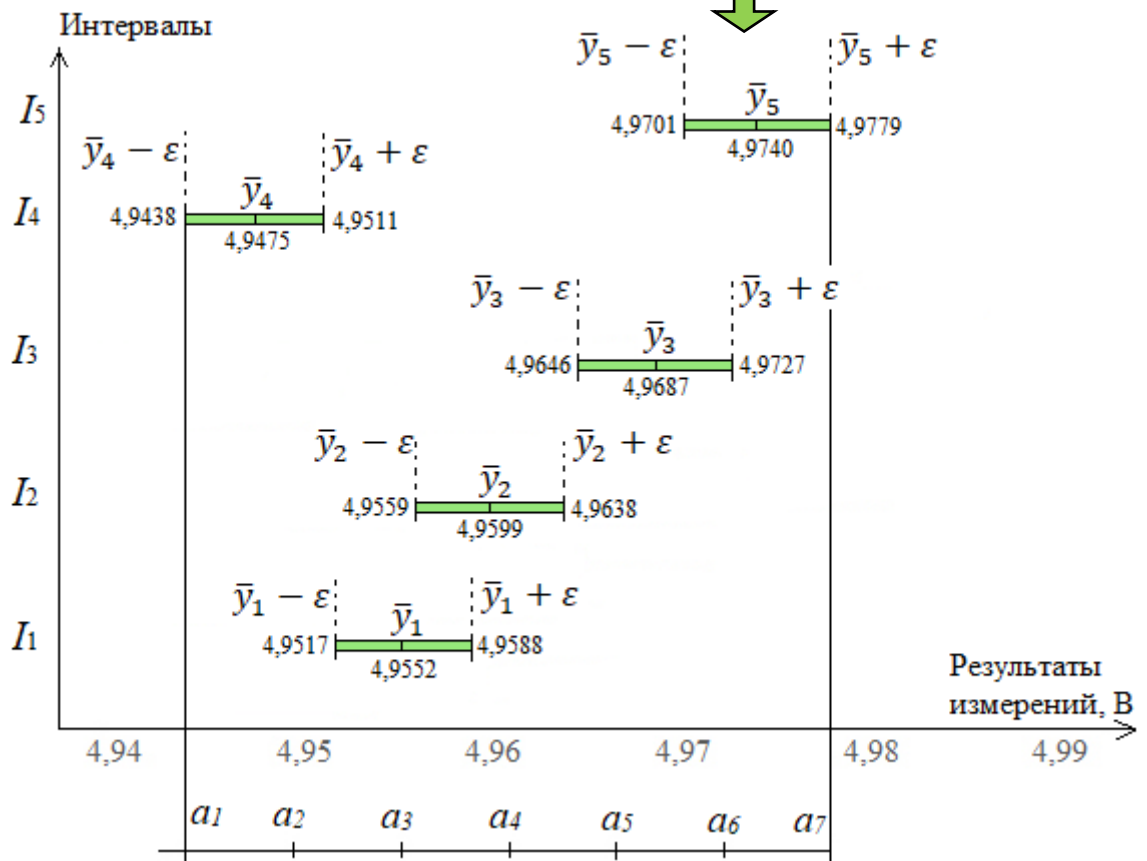
$\lambda_2: \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$

$\lambda_3: \alpha_5 \sim \alpha_6 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_7$

$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 > \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$

$\lambda_5: \alpha_6 \sim \alpha_7 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$

Этап 3. Представление диапазона актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$\alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_5 > \alpha_4 \sim \alpha_3 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_2: (4,95 \pm 0,01)$ В

Рисунок А.12 – Интервалы неопределенности для номинала 5 В (7 разбиений)

	5 разбиений
мин	4,9438
макс	4,9779
h	0,0085
a1	4,9438
a2	4,9523
a3	4,9608
a4	4,9693
a5	4,9779



Этап 1. Формирование диапазона актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$$\lambda_1: \alpha_2 \succ \alpha_1 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$$

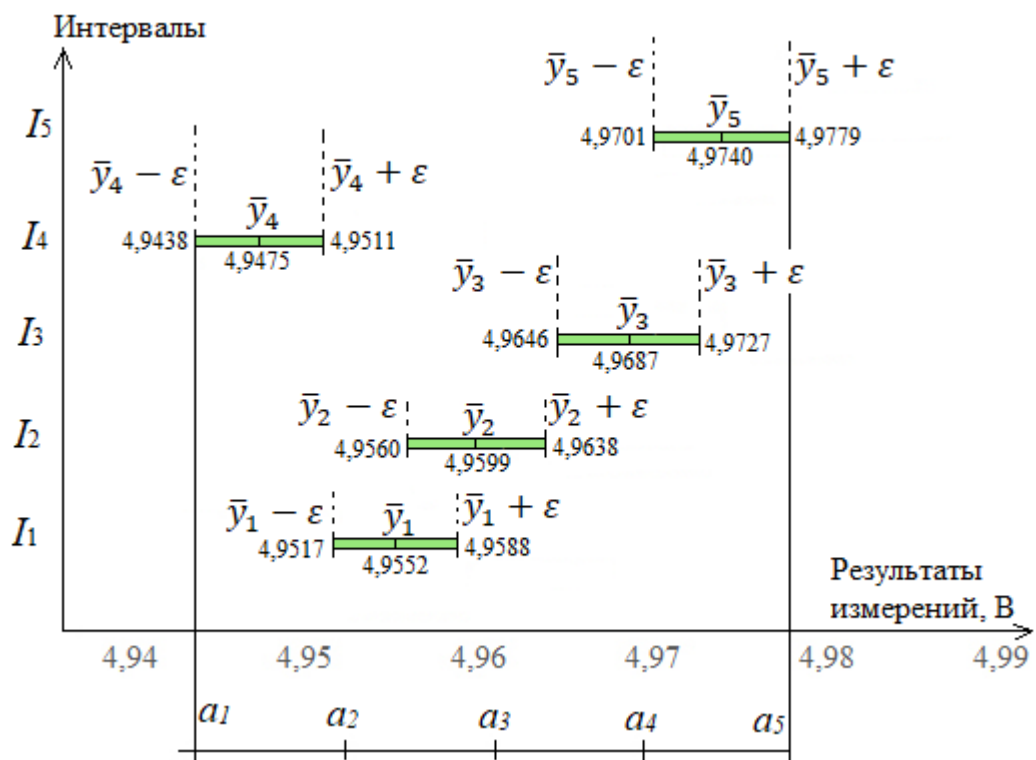
$$\lambda_2: \alpha_3 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_3: \alpha_4 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_4: \alpha_1 \succ \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$$

$$\lambda_5: \alpha_5 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4$$

Этап 3. Представление диапазона актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$$

Наилучшая оценка $x^* = \alpha_3: (4,96 \pm 0,01) \text{ В}$

Рисунок А.13 – Интервалы неопределенности для номинала 5 В (5 разбиений)

10 разбиений	
мин	6,9088
макс	6,9636
h	0,0061
a1	6,9088
a2	6,9149
a3	6,9209
a4	6,9270
a5	6,9331
a6	6,9392
a7	6,9453
a8	6,9514
a9	6,9575
a10	6,9636



Этап 1. Формирование диапазона
актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля
предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: a_4 \sim a_5 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_2: a_5 \sim a_6 \sim a_7 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

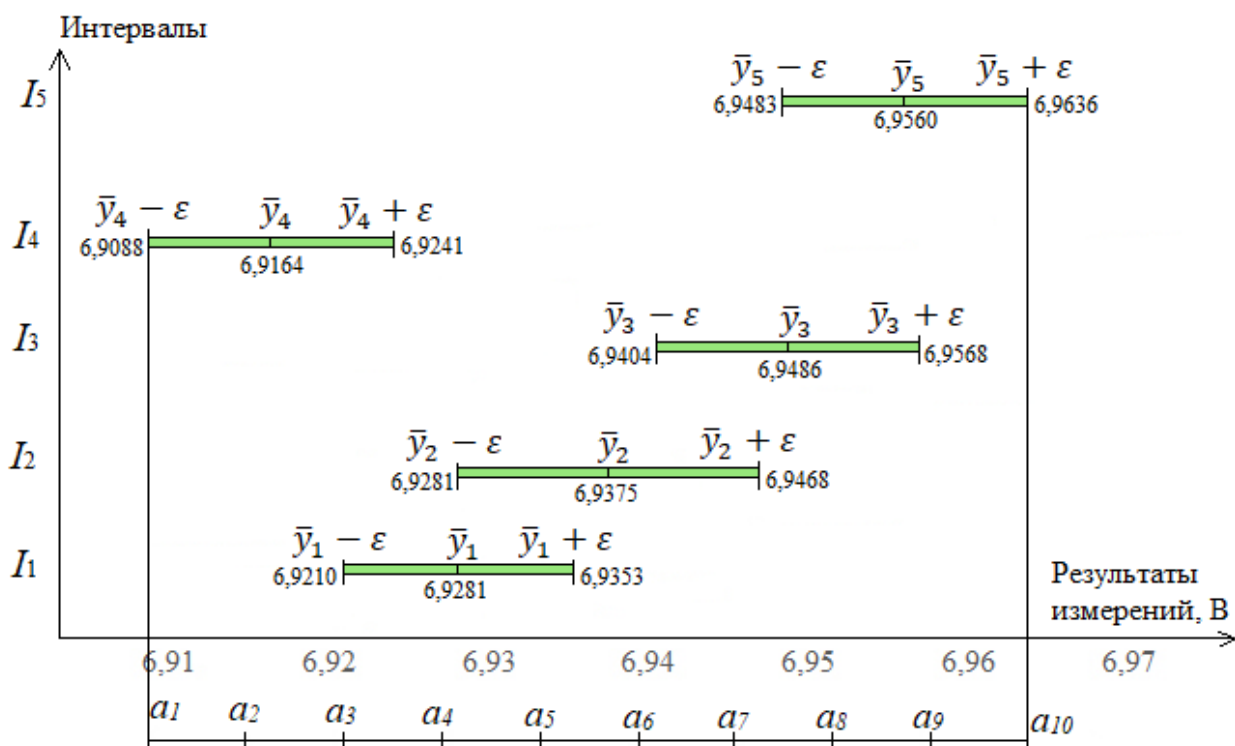
$\lambda_3: a_7 \sim a_8 > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_4: a_1 \sim a_2 \sim a_3 > a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7 \sim a_8 \sim a_9 \sim a_{10}$

$\lambda_5: a_8 \sim a_9 \sim a_{10} > a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \sim a_7$



Этап 3. Представление диапазона
актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$a_5 \sim a_7 \sim a_8 > a_4 \sim a_1 \sim a_6 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_9 \sim a_{10}$

Наилучшая оценка $x^* = a_7: (6,945 \pm 0,012)$ В

Рисунок А.14 – Интервалы неопределенности для номинала 7 В (10 разбиений)

7 разбиений	
мин	6,9088
макс	6,9636
h	0,0091
a1	6,9088
a2	6,9179
a3	6,9270
a4	6,9362
a5	6,9453
a6	6,9545
a7	6,9636



Этап 1. Формирование диапазона актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$$\lambda_1: \alpha_3 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$$

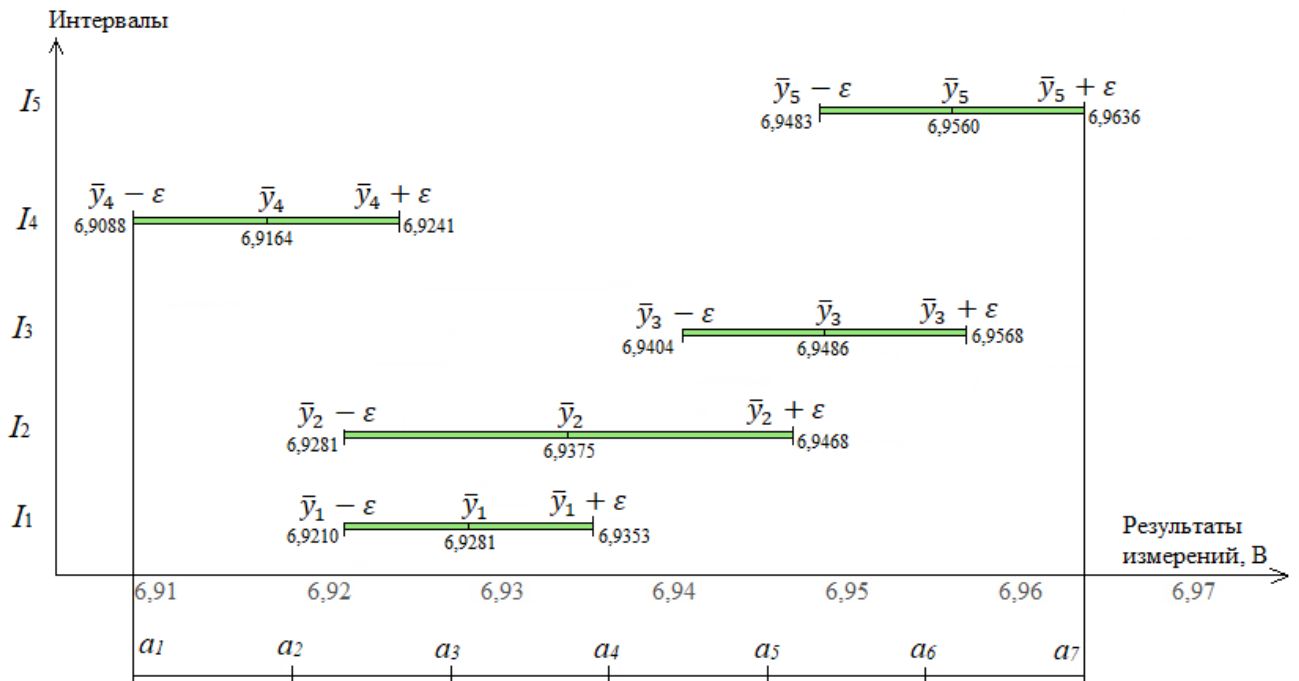
$$\lambda_2: \alpha_4 \sim \alpha_5 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$$

$$\lambda_3: \alpha_5 \sim \alpha_6 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_7$$

$$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 \succ \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5 \sim \alpha_6 \sim \alpha_7$$

$$\lambda_5: \alpha_6 \sim \alpha_7 \succ \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$$

Этап 3. Представление диапазона актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсуального ранжирования:

$$\alpha_5 \sim \alpha_6 \succ \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_7$$

$$\text{Наилучшая оценка } x^* = (\alpha_5/\alpha_6)/2: (6,950 \pm 0,012) \text{ В}$$

Рисунок А.15 – Интервалы неопределенности для номинала 7 В (7 разбиений)

5 разбиений	
мин	6,9088
макс	6,9636
h	0,0137
a1	6,9088
a2	6,9225
a3	6,9362
a4	6,9499
a5	6,9636



Этап 1. Формирование диапазона актуальных значений $A = \{a_1, \dots, a_n\}$



Этап 2. Составление профиля предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$



$\lambda_1: \alpha_2 > \alpha_1 \sim \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$

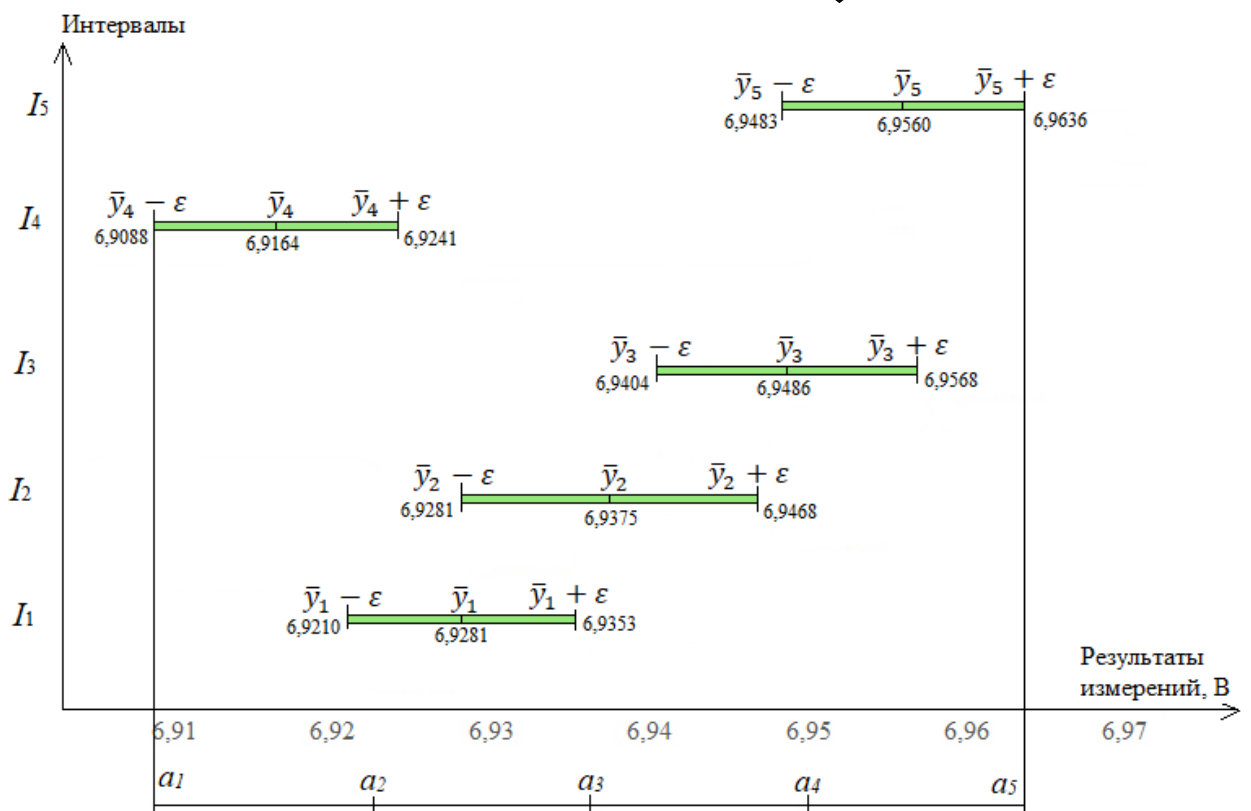
$\lambda_2: \alpha_3 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$

$\lambda_3: \alpha_4 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3 \sim \alpha_5$

$\lambda_4: \alpha_1 \sim \alpha_2 > \alpha_3 \sim \alpha_4 \sim \alpha_5$

$\lambda_5: \alpha_4 \sim \alpha_5 > \alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \alpha_3$

Этап 3. Представление диапазона актуальных значений на дискретном множестве A



Этап 4. Определение наилучшей оценки и консенсусного ранжирования:

$\alpha_2 \sim \alpha_4 > \alpha_3 \sim \alpha_1 \sim \alpha_5$

Наилучшая оценка $x^* = (\alpha_2/\alpha_4)/2: (6,936 \pm 0,012) \text{ В}$

Рисунок А.16 – Интервалы неопределенности для номинала 7 В (5 разбиений)

Приложение Б
(обязательное)

1 Equal and unequal measurements

2 The weighted average method

3 IF&PA method

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Тютрина Анастасия Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Диденко Анастасия Владимировна	к. ф. н.		

1 Equal and unequal measurements

Any measurement aimed at the experimental determination of the quantity value is characterized by accuracy. Accuracy is the degree of closeness of the analysis result to the true (reference) value [1]. The accuracy is expressed by the standard deviation, confidence limits of the error, standard measurement uncertainty, confidence limits, standard measurement uncertainty and extended uncertainty.

Accuracy is characterized by such estimates as the measurement error and uncertainty of measurements, that are based on a probabilistic model. The estimations always appear differently, with certain probability, which can be compared with the generation of random numbers.

According to the classification adopted in metrology, measurements by the nature of accuracy are divided into equal, unequal. The term of equal measurements is specified in the Recommendations on interstate certification RMG 29-1999, which have lost their force. According to [2], equal measurements is the measurement series of any quantity, that is made with the same accuracy of measurement instruments in the same conditions with the same care.

In the version of the RMG 29-2013, the definitions of equal and unequal measurements are excluded. So referring to the current Recommendations, these types of measurements can be characterized with certain accuracy in repeatability conditions.

The conditions of repeatability include:

- used measurement method;
- measurement instruments;
- environmental conditions;
- number of operators;
- time interval between measurements [3].

Instead of the term equal measurements this work uses the term of equidispersed measurements. The measurement error is accuracy, characteristic in measurements as one of the point estimates.

In this work, the purpose of applying such terms as equidispersed and not equidispersed measurements is to reflect the dispersion measure of a random variable, relative the true value of X_{true} (mathematical expectation). The dispersion measure is the standard deviation σ , and the measurements result is defined as

$$y = X_{true} \pm \sigma. \quad (1)$$

Figure 1 presents a graph of the probability density of a random variable with such estimates as the error $\pm \Delta$ and standard deviation σ .

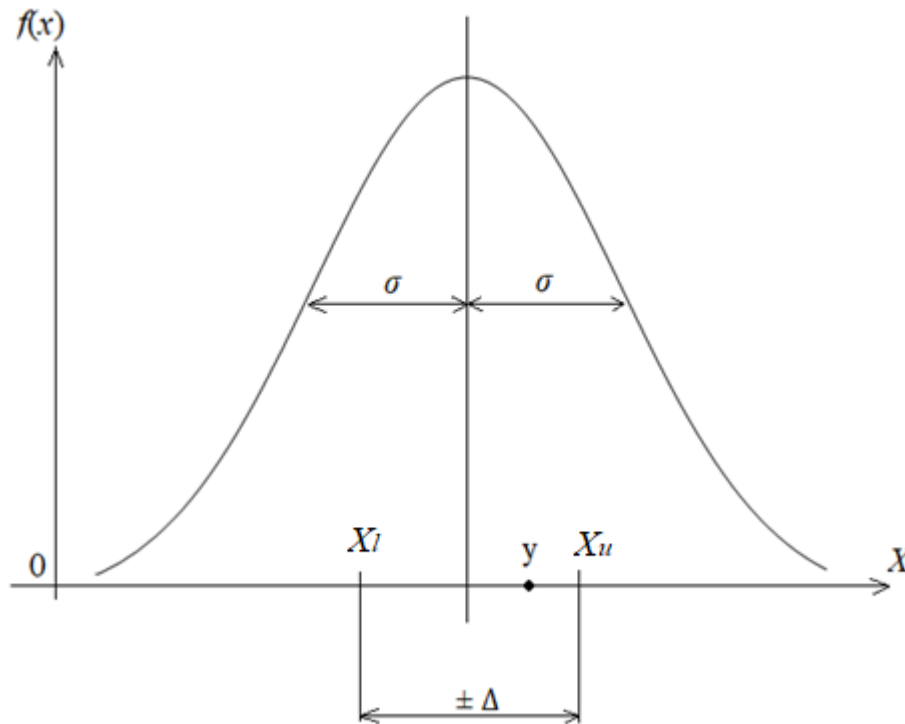


Figure 1 – Graph of the probability density of a random variable with the limits of error and standard deviation

Measurements are considered to be equidispersed in the case when observations are made by the same measurement instrument, by one operator, in the same laboratory, and environmental conditions. The time interval between measurements is the minimum possible in the given measurement conditions. Figure 2 shows equidispersed measurements in the repeatability conditions.

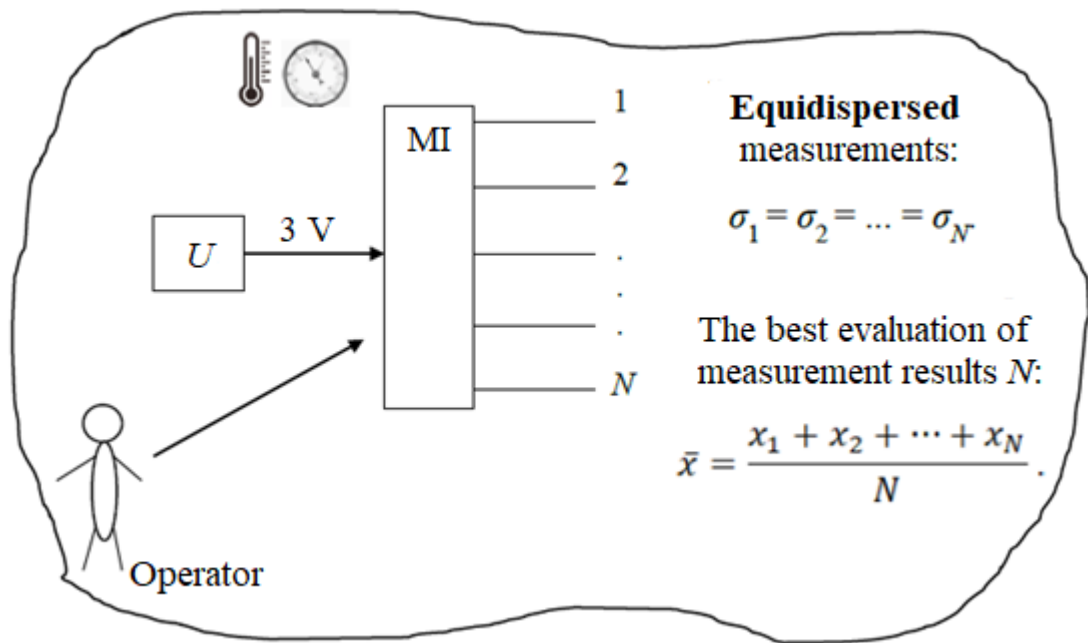


Figure 2 – Equidispersed measurements in the repeatability conditions

Thus, when measurements are made, the standard deviation of measurements is found, which will be equal to the received sample size N . Therefore, the formula for the arithmetic average evaluation \bar{x} is used to find the best estimate of the measurement results x_1, \dots, x_n .

In the practice of research often the situations arise, when it is necessary to find the most reliable value of a quantity and evaluate possible deviations from the true value, based on measurements made by different experimenters, using different measurement tools and methods in different laboratories or conditions. The resulting measurement results are called unequal (not equidispersed).

Unequal measurements are measurement series of a quantity, made by means of measurement instruments that differ in accuracy and/or in different conditions [2]. In such cases, it is necessary to resort to methods for processing the results of unequal (not equidispersed) measurements. When using the term of unequal measurements, there is no need to reflect the deviation measure of the measurement results from the accepted value. Not equidispersed measurements are presented in Figure 3.

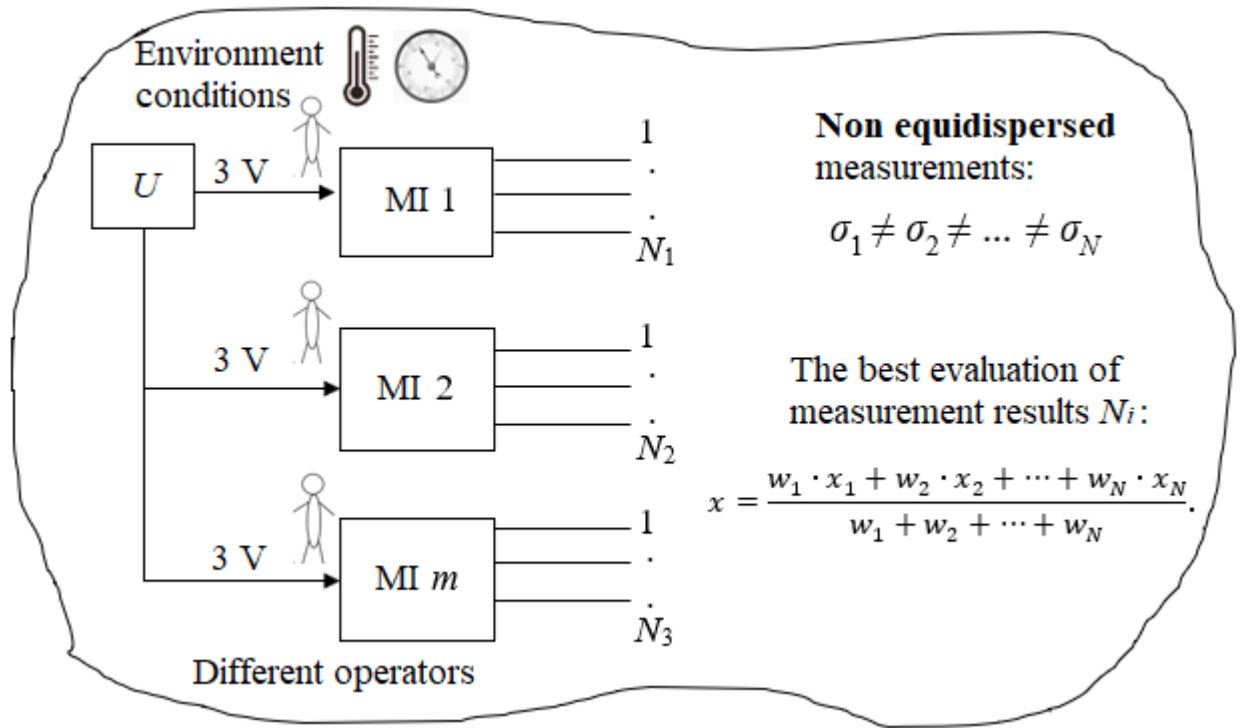


Figure 3 – Not equidispersed measurements

In the case of not equidispersed measurements it is obvious, that due to a violation repeatability conditions such an estimate as the dispersion of the random variable σ_i becomes different for the N_i samples, that are obtained by different measuring instruments. Therefore, it is not possible to use the arithmetic average to find the best estimate of the measurement results. In this case it is necessary to use other methods of processing the results of not equidispersed measurements.

There is the problem of combining two or more independent measurements of the same physical quantity at the moment. Therefore, the processing of not equidispersed measurements requires to use various methods, such as methods of weighted average and IF&PA. Each of these methods is discussed in subsequent sections.

2 The weighted average method

The weighted average method is based on the calculation of the arithmetic average set of numbers x_1, \dots, x_n , which takes into account the weights w_1, \dots, w_n for each number for which the average value is calculated. This method is used

when it is not possible to estimate the value of a quantity by using the arithmetic mean. The arithmetic mean has several disadvantages:

1 Inaccuracy of the obtained value. The arithmetic mean violates the robustness (reliability) property in statistics due to the influence of significant deviations. Robustness is defined as a property of the statistical method, characterizing the independent effect of emissions on the value of quantity, resistance to interference.

2 When applied to variables, that change cyclically, shifts may occur in the numerical range, relative to the actual average value. Such variables can be phase and angle. For example, the average value between the angles of 2° and 360° in the calculation, using the accepted formula, will be $(2^\circ + 360^\circ) / 2 = 181^\circ$. This number is incorrect for several reasons:

- angular measures are defined for the range from 0° to 360° . Thus, the values of 2° and 360° can be replaced by 2° and 0° . Then the average value will be equal to $(2^\circ + 0^\circ) / 2 = 1^\circ$;

- the value of 1° will be geometrically closer to 0° than 181° , respectively, the value of 1° will have the smallest dispersion [5].

Thus, the weighted average method provides robustness to the magnitude of the value in the measurement conditions, while the use of the arithmetic average can lead to gross error. In this work the comparative analysis is performed of the processing methods of not equidispersed measurement results: methods of weighted average and IF&PA, that are based on laboratory measurements of the AC voltage U . AC voltage U measurements are made for the following nominals:

$$U_1 = 1 \text{ V};$$

$$U_2 = 5 \text{ V};$$

$$U_3 = 7 \text{ V}.$$

In this work, a comparative analysis of the accuracy of the weighted average and IF&PA methods is performed for two characteristics:

1. $\varepsilon = \sigma = u_A$ – by type A uncertainty (standard deviation).

2. $\varepsilon = \Delta$ – according to the maximum permissible measurement error, which is determined in the passport of the used type of measurement instruments.

The measurement result is recorded as

$$(x_{WA} \pm \varepsilon) \text{ V.}$$

When describing the weighted average method, the general notation ε use for two cases in the formulas, and it is defined as «deviation».

The weighted average evaluation is determined by the formula

$$x_{CB} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + w_4 x_4 + w_5 x_5}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5}, \quad (3)$$

where x_i – is the arithmetic average for the i -th set of measurements;

$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$ – is the weight of the i -th dimension;

σ_i – is the deviation, defined as type A uncertainty:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

where x_i – i is the value of the input quantity at the i -th measurement point;

\bar{x} – is the arithmetic average value of n independent measurements;

i – is the ordinal number of the measurement point, $i = 1, \dots, n$.

Thus, as a result of applying the weighted average method, the following measurement results are obtained, which are presented in Table 1.

Table 1 – Presentation of measurement results by two characteristics of accuracy, according to the method of weighted average.

Nominal, V	Characteristics of accuracy	
	Type A uncertainty (σ_{WA})	Maximum permissible measurement error (Δ_{WA})
1	(0,99141 \pm 0,00019) V	(0,991 \pm 0,013) V
5	(4,9604 \pm 0,0017) V	(4,96 \pm 0,05) V
7	(6,937 \pm 0,004) V	(6,94 \pm 0,06) V

There is a problem in choosing the method for processing the results of not equidispersed measurements, which does not depend on a number of restrictions. The next section proposes a method for processing not equidispersed measurement results, that are based on combining intervals with aggregation of preferences.

3 IF&PA method

The IF&PA method (interval data fusion with preference aggregation) is a method of processing a set of data, represented as an interval for each such set, and designed to find a total interval (best estimate), that corresponds to the maximum number of specified intervals. For example, one can find the best estimate for not equidispersed measurements, obtained by different measurement instruments, operators, and in different environmental conditions. In addition, this method is applicable to both consistent and inconsistent data.

Consistent data are considered in the case, when they have a common characteristic that most closely matches. Then we can say that the data has the properties of consistency and integrity. Data is inconsistent, if they do not possess the listed properties. The IF&PA method has the properties of point estimates: unbiasedness, consistency, and efficiency, which are valid with a normal distribution of $N(\mu, \sigma^2)$ measurement results [10].

Often there are situations when it is necessary to find the most approximate estimate of the value and its uncertainty on the basis of not equidispersed measurements, when $D(\varepsilon_i) = \sigma_i^2 \neq D(\varepsilon_{i+1}) = \sigma_{i+1}^2, i = 1, \dots, m - 1$. In this case, the use of the arithmetic mean becomes incorrect due to unequal dispersions between themselves.

Data processing of not equidispersed measurements can be applied in the following cases:

- evaluation of key comparative data, provided by the National Metrology Institute for a single transportable standard [11, 12];
- estimation of the uncertainty of the fundamental physical constant;
- detection of systematic measurement errors, that require to involve several operators [13];

- interlaboratory comparisons for assessing the competence of calibration or measurement laboratories in which the same measurements are performed by different laboratories and methods [14, 15];

- data analysis of periodic calibrations of measurement instruments, accumulated over a certain period, in which the accuracy of repeated measurements differs due to the change in the metrological characteristics of the measurement instruments over time.

The IF&PA method is not based on statistical properties and does not use parametric and non-parametric criteria, aimed at determining statistical significance. This approach is called the fusion of interval data, which is characterized by its interval-oriented specificity.

The testing of the IF&PA method is performed using the example of measuring AC voltage U in a circuit, using five measurement instruments of the same type (analog multimeters of the B7-38 M type) at three points in the range (1, 5, 7 V) with 10 repeated measurements in each point, like in the weighted average method:

$$\text{MI}_1: x = \bar{y}_1 \pm \varepsilon_1;$$

$$\text{MI}_2: x = \bar{y}_2 \pm \varepsilon_2;$$

$$\text{MI}_3: x = \bar{y}_3 \pm \varepsilon_3;$$

$$\text{MI}_4: x = \bar{y}_4 \pm \varepsilon_4;$$

$$\text{MI}_5: x = \bar{y}_5 \pm \varepsilon_5.$$

The application of this method is based on the ranking of m intervals $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$ on the real line. Each interval is characterized by a lower bound l_k , an upper bound u_k and a midpoint x_k so that $I_k = [l_k, u_k]$; $l_k < x_k$; $x_k = 0,5 \cdot (u_k + l_k)$; $l_k, u_k, x_k \in R$. Interval I_k is shown in Figure 4.

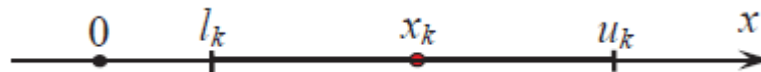


Figure 4 – Interval I_k on the real line

The midpoint x_k is the result of several measurements, the uncertainty interval of which is $[x_k - 0,5 \cdot (u_k - l_k), x_k + 0,5 \cdot (u_k - l_k)] = [x_k - \varepsilon_k, x_k + \varepsilon_k]$. In this

case, the k -th interval can be represented by the parameters (x_k, ε_k) . For x_k the average value of \bar{y}_i is taken for the i -th measurement point. The number of intervals in this case will be equal to $k = 5$.

The range of actual values (RAV) is a combination of the intervals $\{I_k\}$, covering the range of measured values from x_{min} to x_{max} and is intended for the subsequent splitting of the combination result into equal intervals. So, with the help of the RAV range a discrete set A is formed, starting from the given continuous intervals $\{I_k\}_{k=1}^m$.

The existence of incompatible intervals can lead to their rupture and exclusion of possible discontinuities; the smallest lower limit is chosen for all intervals as the lower limit of RAV a_1 :

$$a_1 = \min \{l_k \mid k = 1, \dots, m\}, \quad (5)$$

and as the upper limit the greatest limit is taken for all intervals:

$$a_n = \max \{u_k \mid k = 1, \dots, m\}. \quad (6)$$

In order to generate the elements a_2, a_3, \dots, a_{n-1} , it is necessary to divide the resulting interval $[a_1, a_n]$ by $n - 1$ equal subinterval

$$h = (a_n - a_1)/(n - 1). \quad (7)$$

The length h will be called the criterion (or grid) of partition. After separation, the criterion will be determined by the formula

$$h = |a_i - a_{i-1}|, i = 2, \dots, n, \quad (8)$$

and the i -th element of RAV is defined as

$$a_i = a_{i-1} + h, i = 2, \dots, n. \quad (9)$$

The set $A = \{a_1 < a_2 < \dots < a_n\}$ of completely ordered discrete values $a_i, i = 1, \dots, n$ can be used to form a ranking, representing the intervals $\{I_k\}_{k=1}^m$.

The stages of the considered IF&PA procedure are as follows:

Step 1. Formation of actual values a range from the initial intervals $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, calculating the step h and partitioning the RAV into subintervals to get the set $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$.

Stage 2. Compilation of inrankings and forming a profile of preference $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$.

Step 3. Determining the value of x^* as the best alternative for the consensus ranking for the profile Λ . For this purpose any algorithm can be used to implement some voting rules. This work uses the Kemeny rule [19]. The algorithm finds several consistent rankings that should form a single final consensus ranking. All consistent rankings have a strict order of relationships and the final consensus ranking of β is a weak order [20].

Step 4. Determining the best estimate – finding the Kemeny median using a software package in Microsoft Visual C#.

Step 5. Calculation of the uncertainty ε^* of the value of x^* by the formula

$$\varepsilon^* = \max_{k=1,\dots,m'} \{I_k \leq x^*\}, \min_{k=1,\dots,m'} \{u_k \geq x^*\}. \quad (10)$$

Thus, as a result of applying the IF&PA method, the following measurement results are obtained and presented in Tables 2 and 3.

Table 2 – Presentation of measurement results by uncertainty intervals using the methods of weighted average and IF&PA

Nominals, V	Characteristics of accuracy			
	The weighted average method	IF&PA method (10 partition)	IF&PA method (7 partition)	IF&PA method (5 partition)
1	(0,99141 ± 0,00019) V	(0,9930 ± 0,0001) V	-	-
5	(4,9604 ± 0,0017) V	(4,9703 ± 0,0002) V	(4,9495 ± 0,0016) V	(4,961 ± 0,003) V
7	(6,937 ± 0,004) V	(6,9453 ± 0,0015) V	(6,9499 ± 0,0016) V	(6,936 ± 0,008) V

Table 3 – Presentation of measurement results by error intervals using the methods of weighted average and IF&PA

Nominals, V	Characteristics of accuracy			
	The weighted average method	IF&PA method (10 partition)	IF&PA method (7 partition)	IF&PA method (5 partition)
1	(0,991 ± 0,013) V	(0,996 ± 0,016) V	(0,991 ± 0,011) V	(0,984 ± 0,003) V
5	(4,96 ± 0,05) V	(4,97 ± 0,04) V	(4,96 ± 0,03) V	(4,932 ± 0,019) V
7	(6,94 ± 0,06) V	(6,94 ± 0,04) V	(6,94 ± 0,04) V	(6,94 ± 0,04) V

The proposed method can be applied to interval data, obtained in the relationship scale, which converts data into a scale of order, and then the best object is determined by aggregating preferences. Thus, the best object becomes a point on the scale of relationships. From this, it follows that the transition from the

scale of relations to the scale of order simplifies the presentation of input data, which characterizes the IF&PA method as reliable and accurate.

In conclusion, the IF&PA method is proposed for combining interval data, based on the representation of intervals on a real line by ranking on a set of discrete values, belonging to these intervals. Experimental studies and comparative analysis show that the use of the best value in the ranking of consensus ensures sufficient accuracy and reliability of the estimates obtained.